



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENERGÍA - (PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA)

DESCUBRIENDO RELACIONES ENTRE EL GÉNERO Y ENERGÍA EN DATOS
DE ENCUESTA NACIONAL EN HOGARES

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

PRESENTA:

ING. GUILLERMO OLVERA GUERRERO

TUTOR:

DR. MIGUEL ROBLES PEREZ. IER

Temixco, Morelos, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Jesús Antonio Del Río Portilla

Secretaria: Dra. Cedano Villavicencio Karla G.

1er. Vocal: Dr. Miguel Robles Pérez

2do. Vocal: Dra. Mónica Borunda Pacheco

3er. Vocal: Dr. Ehecatl Antonio Del Río Chanona

Lugar donde se realizó la tesis: Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos

Tutor de tesis:

Dr. Miguel Robles Pérez

FIRMA

**There's no love in a carbon atom.
No hurricane in water molecule.
No financial collapse in dollar bill.
Peter Dods**

A mis padres Adela y Guillermo, y a mis hermanos David y Ramón.

A Ramón Matías, hacer que esté orgulloso de su tío me motiva en todo lo que hago.

A Carolina, porque nos acompañamos y aprendimos mucho de ambos durante este proceso.

Índice general

Resumen	1
1. Introducción	2
1.1. Dimensión de género en la energía	2
1.2. Energizando la igualdad de género	4
1.3. Sistemas complejos	6
1.4. Relaciones de género y consumo de energía como un sistema complejo	8
1.5. Análisis de redes	9
1.5.1. Parámetros de redes	10
1.5.2. Modelos de redes	13
1.6. Objetivos	14
2. Metodología	15
2.1. Descripción de la base de datos ENIGH	16
2.2. Limpieza de la base de datos	18
2.3. Clasificación de género	21
2.4. Estandarización de las variables y cálculo de la covarianza con la variable <i>energía</i>	24

2.5. Representatividad de las variables en el consumo de energía para cada clasificación del hogar	28
2.6. Red de consumo de energía y género	34
3. Resultados	37
3.1. Descripción de las clasificaciones de género	37
3.1.1. Análisis geográfico de los tipos de hogares	41
3.2. Propiedades globales de las redes de consumo de energía y género	49
3.3. Propiedades locales de las redes de consumo de energía y género	51
3.3.1. Análisis temporal	54
3.4. Detección de comunidades en las redes de consumo de energía y género . . .	56
3.5. Ejemplo de análisis cualitativo de comunidades	65
4. Conclusiones	68
4.1. Trabajos futuros	71
A. Repositorio	74
A.1. Ubicación y descripción del repositorio	74

Índice de figuras

1-1. Ejemplos de redes simples y direccionadas.	9
1-2. Ejemplo de una red bipartita. Como se puede observar, no existen conexiones entre los nodos de un mismo tipo. Es decir, no hay conexiones entre los nodos naranjas y los nodos azules. Todas las conexiones son entre los nodos naranjas y azules.	10
2-1. Esquema general de la metodología propuesta en este trabajo.	15
2-2. Diagrama de Venn de los niveles de descripción de la ENIGH	17
2-3. Histograma de la proporción de valores nulos n_i de la encuesta ENIGH-2016	19
2-4. Histograma de la proporción de valores nulos n_i de la encuesta ENIGH-2016 después de remover las variables con $n_i > 0.1$	20
2-5. Diferencia entre la comparación de las variables <i>ingreso corriente</i> y <i>alfabetismo</i> con la variable <i>energía</i> sin estandarización y con estandarización	26
2-6. Representación gráfica de los valores de covarianza para las variables energía-ingreso corriente y energía-alfabetismo. La variable de ingreso corriente tiene una mayor relación con el consumo energético de los hogares, lo que representa un mayor valor de covarianza y una distribución más sesgada.	27
2-7. Mapa de colores de los valores de covarianza entre variables y clasificaciones del hogar para el año 2016	28
2-8. Representatividad de cada variable de acuerdo a la serie ordenada de variables X en una escala logarítmica.	30

2-9. Representatividad multiplicada por la covarianza de cada variable para la clasificación de hogar hombre con adultos (H1). El punto rojo es el valor máximo que sirve para determinar el valor de representatividad a analizar en este trabajo.	31
2-10. Valores de Rep_m y el número de personas por clasificación de hogar. Se observa que independientemente del número de personas que entran en la clasificación de hogar, el valor de Rep_m fluctúa alrededor del 60 %. La línea punteada muestra el promedio de Rep_m para las clasificaciones de hogar y tiene un valor de $\overline{Rep_m} = 0.6003$	32
2-11. Matriz de covarianza cortada después de determinar el nivel de representatividad máxima para el año 2016. Se puede ver la pérdida de información de algunas variables pero que el procedimiento resalta las diferencias en las variables para cada clasificación del hogar. Esta misma matriz se convierte en la matriz de adyacencia A_{ij} del modelo de red.	33
2-12. Esquema de la construcción de las redes de consumo de energía y género. . .	35
3-1. Pirámide poblacional del censo 2020 de población y vivienda del INEGI . . .	38
3-2. Distribución de los hogares de acuerdo a su clasificación para el año 2016, 2018 y 2020.	39
3-3. Distribución de los hogares de acuerdo a su clasificación y por sexo de la persona referente del hogar de acuerdo a la clasificación de la tabla 2-2 . En número de personas se muestra en escala logarítmica.	40
3-4. Ubicación de los hogares M1 y H1 con adultos para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	42
3-5. Ubicación de los hogares M3 y H3 con adultos y mayores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	43
3-6. Ubicación de los hogares M6 y H6 con adultos, mayores y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	44
3-7. Ubicación de los hogares M2 y H2 con adultos y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	45

3-8. Ubicación de los hogares M5 y H5 con mayores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	46
3-9. Ubicación de los hogares M4 y H4 con adultos y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético	47
3-10. Redes de consumo de energía y género para los años (a) 2016, (b) 2018 y (c) 2020. Los nodos azules representan las clasificaciones de hogares y los nodos naranjas son las variables de la ENIGH.	49
3-11. Fuerza de los nodos ordenados por su coeficiente de clustering para las redes de consumo de energía y género de los años 2016, 2018 y 2020.	52
3-12. Distribuciones de grado (a) y fuerza (b) de los nodos en una escala logarítmica para los años analizados. Se puede observar la presencia de hubs en el sistema. Esto puede indicar una similitud con el modelo de Barabási-Albert, con la diferencia en que la ley de potencia no sigue exactamente una línea recta, sino que tiene un incremento en la probabilidad.	53
3-13. Presencia de los nodos en cada uno de los años. El color de los nodos indica el número de años presentes. Se omite el detalle de los nodos para simplificar la visualización.	54
3-14. Número de variables incluidas en las redes de consumo de energía y género para cada año.	56
3-15. Iteraciones del algoritmo BRIM para detectar comunidades en las redes de consumo de energía y género. Se puede observar la naturaleza estocástica del algoritmo y como puede llegar a detectar diferentes número de comunidades y con diferente valor de modularidad (Q)	57
3-16. Detección de comunidades en las redes de consumo de energía y género usando el algoritmo BRIM y maximizando su modularidad.	59
3-17. Intercambio de nodos dentro de los grupos 1 y 2.	62
3-18. Intercambio de nodos en los grupos 3 y 4	63
3-19. Número de variables de cada tipo en cada uno de los grupos por año	65
3-20. Comunidad 1 de la red de género y energía del año 2016	66

Resumen

Entender mejor la forma en la que las personas consumen energía de acuerdo a sus características, puede permitir tomar acciones que permitan fomentar igualdad de condiciones.

En este trabajo se conceptualiza el consumo de energía y el género como un sistema complejo. Pensarlo de esta forma, permite visualizar cómo los diferentes tipos de hogares, de acuerdo a las personas que los integran y a su entorno, interactúan en su consumo de energía. Para analizar el sistema de esta forma se usa como base de datos la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto en los Hogares (ENIGH), que es una encuesta con representación nacional y que contiene información muy diversa de los hogares. Con la información contenida en la ENIGH, se propone una clasificación de género en los hogares que integra el sexo de la persona referente del hogar (mujer u hombre) y los rangos de edad de las personas que lo componen (adultos, menores y mayores). Esta clasificación es limitada a una segregación de sexos en la persona referente del hogar debido a que es la única información con la que cuenta la encuesta ENIGH.

En este trabajo se desarrolló una metodología para modelar el sistema de consumo de energía en los hogares y el género como una red bipartita. La red conecta los tipos de hogares que se analizan con las variables que mejor describen su consumo de energía. De esta forma se puede observar la relación que tienen entre los hogares y describir cuales variables son características para cada clasificación de hogar.

El análisis se realizó para los años 2016, 2018 y 2020 de la ENIGH. Se describen las propiedades globales del sistema, que se resumen en redes disortativas y con un comportamiento dinámico muy bajo. Se analizan también las propiedades locales, donde se encuentra que las redes se comportan como una red de Barabasi-Albert y que existen diferentes comportamientos de los nodos que componen el sistema.

Se analizan las comunidades dentro de la red usando el algoritmo BRIM para redes bipartitas. Se encuentran en todas las redes 4 comunidades, de las cuales algunas tienen un comportamiento muy similar a lo largo del tiempo. Por ello, las comunidades se clasifican en grupos para describir sus cambios en el tiempo. Se encuentra que observando a detalle cada una de las variables en los grupos existe un alto intercambio de variables que describen el comportamiento energético entre clasificaciones de hogares. En este nivel de análisis las redes muestran un comportamiento altamente dinámico pero mantienen su estructura a nivel global.

Finalmente, se clasifican las variables de la ENIGH en diferentes tipos: Alimentación, Electrodomésticos, Gastos, Perfil, Ingresos y Vivienda. Categorizar las variables de esta forma tiene como objetivo crear un marco de trabajo basado en datos para que científicos sociales describan de forma cualitativa el sistema de género y energía.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se describirá a detalle los antecedentes que inspiraron este trabajo. Primero se describe el problema social relacionado al sistema de género y energía. Para esto, se revisan los antecedentes relacionados a los estudios de género y las relaciones identificadas en trabajos previos sobre el género y la energía. Después, se argumenta como el sistema de género y energía puede abordarse desde un enfoque basado en la ciencia de sistemas complejos. Finalmente se define la ciencia de redes y los parámetros usados para analizar los sistemas complejos.

1.1. Dimensión de género en la energía

Para este trabajo se toma como definición de género a la *construcción social* de los roles, comportamientos y privilegios que tienen las personas con base en su sexo y otros factores como la clase social, la etnicidad, la edad, la región, etc [1]. Al enfatizar que es una construcción social se describe que son roles aprendidos y no determinados biológicamente.

Los *roles de género* son actividades que se asocian al sexo biológico, es decir, que se espera que hagan o no hagan de acuerdo al sexo biológico de la persona; buscan determinar la forma en la que deben pensar y actuar de acuerdo a su sexo [2] y moldean la identidad y la percepción de las personas por la sociedad y por ellas mismas.

Los roles de género están basados en cuestiones culturales y no son universales. Esto quiere decir que cambian de acuerdo a la sociedad y al tiempo [3, 4]. La concepción del género es

un fenómeno multi-escala, debido a que pueden llegar a variar en diferentes niveles como en hogares, comunidades, regiones y naciones. Los roles de género también tienen la propiedad de ser dinámicos, debido a que las sociedades van modificándolos a lo largo del tiempo.

Los roles de género influyen en la forma en que las personas consumen energía. Esta es la primer relación entre el género y la energía. Los roles de género tienen la capacidad de limitar las acciones humanas. Producen desigualdades sobre lo que las personas pueden hacer, los recursos a los que tienen acceso y sus oportunidades de desarrollo [5]. Estas desigualdades también se ven reflejadas para el uso de la energía debido a las diferentes actividades derivadas de los roles de género. Es decir, existen ciertos roles que se determinan a un sexo en particular y que se asocian además con una actividad que requiere del consumo de un recurso energético de una forma específica.

Por ejemplo, uno de los roles de género que comparten muchas sociedades es que las mujeres se hagan cargo de las actividades domésticas y de cuidado, incluyendo la preparación de los alimentos [6]. La preparación de los alimentos requiere del consumo de recursos energéticos para su transformación y de diferentes tecnologías para el mismo fin. Esto provoca que las mujeres tengan un contacto más directo con el uso de energéticos y tecnología relacionada a esta actividad. De esta forma, un rol de género establecido por la sociedad determina una forma específica en su consumo de energía para un sexo en particular.

Es importante estudiar la relación entre el género y la energía en los proyectos energéticos y las dinámicas de consumo de energía. Si no se consideran, se pueden tener efectos secundarios que fomentan una desigualdad de género. A este tipo de proyectos e investigación se les denomina *ciegos al género* o *gender-blind* por su término en inglés y en general las mujeres son las que se ven más afectadas [4,7]. Existe un reciente llamado a la acción para considerar las implicaciones en el género y la equidad social en la transición energética [8].

La energía es un recurso básico para el desarrollo de las personas, debido a todos los servicios y actividades en las que puede implementarse. Tiene impactos en diversas dimensiones que impactan en la calidad de vida de las personas. Desde la supervivencia hasta actividades recreativas o de entretenimiento [9–11]. En algunas casos, esta relación entre género y energía también está ligada a la pobreza, creando lo que se conoce como el nexo entre género, energía y *pobreza energética*. La *pobreza energética* es un término que describe la incapacidad de las personas de satisfacer sus necesidades energéticas. De esta forma, se hace cada vez más evidente como no considerar las diferencias de género en los proyectos y estudios de energía, se pueden fomentar nuevas desigualdades o hacer más fuertes las existentes.

1.2. Energizando la igualdad de género

El uso de la energía puede promover la igualdad de género de la misma forma como puede generar desigualdades. La idea de *energizar la igualdad de género* propone usar los recursos y proyectos energéticos para promover una igualdad de género.

El contexto del género en la energía está muy ligado a discusiones que se están teniendo sobre el género. En primer lugar, identificó la falta de participación de las mujeres en proyectos e investigación relacionada a la energía [12]. Esta falta de inclusión no solo provoca una ausencia de voz sobre dinámicas particulares que pueden afectar a las mujeres, también omiten una perspectiva diferente que demuestra ser valiosa ante los grandes retos energéticos de la actualidad frente al cambio climático [13].

Sin embargo, para usar la energía como un factor de cambio en torno a una igualdad de género no basta una mayor participación de las mujeres. Existen una serie de retos importantes que se tienen que resolver en conjunto. Por ejemplo, en un artículo publicado en 2018, Sarah Brashaw describe que la segregación de sexos en la investigación y en los proyectos energéticos no es suficiente para promover una igualdad de género. La segregación de sexo no contempla los diferentes factores que están ligados al género y que se discuten en su literatura, de manera que no generan contenido que pueda ser benéfico para construir conocimiento en torno a las diferencias de género. La investigación sobre el género puede llegar a fomentar estereotipos si no tiene las bases de la literatura en el género que hacen un análisis más crítico [2].

En este sentido, existen trabajos que proponen características para evitar que los estudios de género y energía fomenten desigualdades. Benjamin K. Sovacool describe que los estudios de género requieren de perspectivas más amplias de estudio y en particular de las ciencias sociales [14]. En otro trabajo de analiza desde una perspectiva feminista los trabajos de investigación en pobreza energética, en el que aplican un Análisis Crítico del Discurso para identificar mitos sobre el género fomentados por la propia investigación [15].

Reconocer las necesidades que cubren los recursos energéticos también es vital para llegar a una investigación que fomente la igualdad de género. La energía no es un fin, sino un medio para realizar otras actividades o satisfacer necesidades. Con esta perspectiva se deja de entender a la energía en términos únicamente cuantitativos y pretende identificar las actividades que son primordiales para las personas. La falta de una explicación cohesiva entre el género y el uso de la energía puede ser uno de los factores por los cuales estas relaciones se mantienen ocultas en la investigación en energía [16].

Investigaciones entre el género y la energía sitúan los hogares como las unidades mínimas de estudio para su análisis [17]. Los hogares son lugares críticos tanto para el desarrollo y bienestar de las personas, así como para su vinculación con su entorno tanto físico y social

[18, 19]. Los hogares también son espacios donde se producen (o reproducen) las feminidades y las masculinidades [20]. Por lo que los hogares son espacios donde se manifiestan las relaciones de género y energía.

Es necesario también reconocer que los hogares no son homogéneos en su consumo de energía [21] y que las necesidades que requieren están ligadas a otros factores. Por ejemplo, las personas que los integran así como al entorno en que está rodeado. Desde una perspectiva relacional del espacio, se entiende a los hogares como unidades en comunicación, tanto por sus integrantes como por su entorno, que también incluye entidades no tangibles como la cultura [22]. Las necesidades energéticas de un hogar no son solo la fuente de suministro de energía, también abarcan satisfacen las necesidades que requieren las personas que lo integran.

A continuación se mencionan algunas características que se requieren para usar la investigación y los proyectos energéticos de forma que fomenten una igualdad de género a partir de la literatura analizada:

- Realizar investigación que vaya más allá de la segregación de los sexos.
- Realizar investigación que pueda integrar diferentes áreas de estudios además de la perspectiva STEM en el ámbito energético, dando especial enfoque a las ciencias sociales.
- Generar un proceso de autocrítica sobre el discurso en la investigación en energía, de forma que evite generar nuevos mitos o estereotipos con respecto al género.
- Entender que los hogares no son unidades homogéneas en términos energéticos y que son unidades que se ven afectadas tanto por las personas que los integran así como su entorno físico e inmaterial.

Al tomar en cuenta las ideas expuestas en las últimas dos secciones, se empieza a construir una noción de las relaciones entre hogares, energía y género. Se entiende ahora que existe un impacto en cómo las personas se ven influenciadas por los roles de género y cómo estos pueden reflejar comportamientos y necesidades energéticas específicas. Se entiende también que los hogares son unidades con una alta influencia tanto de las personas que lo integran como de su entorno.

Para caracterizar mejor el consumo de energía de los hogares es necesario considerar otros factores. Las investigaciones relacionadas al género, la energía y la pobreza energética en particular describen una alta cantidad de factores involucrados. En diversos artículos usan el término “complejo” debido a esta fuerte dependencia de multifactorial y a su sensibilidad a las condiciones específicas. Actualmente existe un campo de estudio que analiza los sistemas

complejos. Este campo busca describir y caracterizar las propiedades de este tipo de sistemas. En la siguiente sección se describirá a detalle algunas características de los sistemas complejos y se relacionarán con los estudios de energía y género.

1.3. Sistemas complejos

La complejidad es un campo de estudio que analiza las propiedades de grandes colecciones de componentes, que interactúan localmente entre ellos a pequeñas escalas, presentan estructuras globales no triviales y comportamientos a grandes escalas, generalmente sin interacciones externas, autoridades centrales o líderes. Las propiedades de la colección no pueden ser entendidas o predichas a partir del conocimiento completo de sus elementos por separado. Esta colección es denominada un sistema complejo y requiere de un nuevo marco matemático y metodologías científicas para su investigación [23].

La complejidad resulta entonces un enfoque distinto al reduccionismo que se practica de manera general en la ciencia. El reduccionismo busca aislar los componentes de estudio para tener más conocimiento de sus propiedades y pretende que al tener completa las descripciones individuales, la superposición de las propiedades describan al sistema completo. Si bien esta perspectiva resulta muy útil y ha formado gran parte del conocimiento científico que tenemos en la actualidad, también se han encontrado sistemas que no pueden ser explicados de esta manera.

Por otro lado, se puede distinguir lo que es un sistema complejo a uno que no lo es gracias a los conceptos de *complejidad organizada* y *complejidad desorganizada* propuestas por Warren Weaver [24]. Los problemas de *complejidad desorganizada* se refieren a una colección de elementos interrelacionados que puede ser grande en número pero que las relaciones no tienen propiedades particulares. Este tipo de problemas se pueden abordar usando la probabilidad y estadística que extraen las propiedades globales del sistema. Los problemas de *complejidad organizada* por otro lado, muestran organización o *interrelaciones orgánicas* como lo describe Weaver, en la que las interrelaciones muestran cierto nivel de organización.

Los conceptos de complejidad y de sistemas complejos son recientes y siguen en constante cambio debido a que aún no hay un consenso entre la comunidad científica. Esto muestra que aún es un campo de estudio abierto y que está en las fronteras del conocimiento científico [25]. Sin embargo, cada vez se identifican las propiedades que comparten los sistemas complejos y ayudan a describirlos. A continuación se presentan algunas de estas características:

- **Sistemas con elementos interconectados:** Los sistemas complejos se componen de múltiples elementos que interactúan de diferentes formas entre ellos. Las interacciones que tienen hace que sea difícil estudiar sus elementos por separado y los elementos

pueden componerse de sistemas por sí mismos. Es decir, sistemas dentro de sistemas. Es por ello que los sistemas complejos describen sus componentes y relaciones así como la manera en que estas relaciones forman el sistema completo.

- **Emergencia:** La emergencia es cuando en un sistema se observan propiedades nuevas que no son descritas desde los elementos que los componen. Es decir, que *emerge* una nueva propiedad cuando se analiza el sistema como un todo.
- **Dinámicos:** Los sistemas complejos tienden a ser altamente dinámicos. Generalmente son sistemas no lineales, con transiciones de fases, caóticos o dependientes de la trayectoria.
- **Auto-organización:** La auto-organización describe la ausencia de un control central y sus propiedades surgen de las mismas interacciones entre sus elementos.
- **Adaptativos:** Los elementos del sistema complejo pueden reaccionar ante su entorno. Estos cambios describen *robustez* si el sistema resiste a las perturbaciones, *resiliencia* si regresan a su estado original después de grandes perturbaciones o *adaptabilidad* si logran cambiarse a sí mismos para sobrevivir.
- **Interdisciplinarios:** Los sistemas complejos suelen describir fenómenos de distintas disciplinas. Ejemplos de sistemas complejos se encuentran en la física, biología, economía, ciencias sociales, ingeniería, medicina, política, ecología, psicología, etc. Esto se debe a la *universalidad* de los fenómenos y su capacidad de ser descritos usando los mismos modelos y herramientas matemáticas.
- **Nuevas metodologías de análisis:** Finalmente, los sistemas complejos requieren del desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías para su análisis. Estas incluyen el desarrollo de modelos matemáticos y computacionales para correr simulaciones que describan sus propiedades.

Los sistemas complejos cubren una gran cantidad de propiedades y comportamientos que aparecen en común en diferentes disciplinas científicas. Este trabajo se basa en la tesis de que las relaciones que existen entre el género y el consumo de energía puede entenderse como un sistema complejo. En la siguiente sección se hace una discusión sobre los fundamentos y suposiciones por las que las relaciones de género y consumo de energía pueden describirse como un sistema complejo.

1.4. Relaciones de género y consumo de energía como un sistema complejo

Las relaciones entre el género y la energía han sido analizadas desde diferentes enfoques. Una clasificación de las metodologías usadas es entre las *cuantitativas* y las *cualitativas*. Cada una de las metodologías proporciona información importante sobre el sistema. Las metodologías cuantitativas permiten describir si existen diferencias y su magnitud en el consumo de energía por género. Por otro lado, las metodologías cualitativas buscan describir a mayor profundidad las razones, situándolos en contextos específicos y respondiendo al por qué.

Ambas metodologías proporcionan piezas de información relevantes para entender a profundidad las relaciones entre el consumo de energía y el género. Hoy en día se busca integrar las ventajas de ambas metodologías en diversos temas relacionados a la energía, debido a que este tipo de esfuerzos son raros o carecen de un enfoque sistemático [26]. Ana Pueyo y Mar Maestre enfatizan la importancia de metodologías mixtas (cuantitativas y cualitativas) que permitan entender los ambientes complejos en los que se desarrollan las relaciones entre los usos de la energía y el género.

Por otro lado, las investigaciones entre el género y la energía muestran indicios de un sistema complejo. Por ejemplo, al analizar las vulnerabilidades relacionadas al género y la energía se encuentra que es: “ un problema complejo y multi-facético, que tienen un rango de impulsores, y que resultan en múltiples formas de vulnerabilidad”, además de “ser función de múltiples intersecciones entre circunstancias de vida, circunstancias sociales, disponibilidad de infraestructura y la política climática” [27].

Las relaciones entre género y energía describen propiedades como muchos elementos interconectados y fenómenos multi-escala, ya que las personas, hogares y comunidades las experimentan de diferentes formas además de ser dinámicos en el espacio y el tiempo [28]. Las identidades culturales que definen el género no cuentan con una autoridad central que los defina y estas identidades también se modifican en el tiempo respondiendo a su entorno. Todas estas propiedades se asocian a un sistema complejo.

No existe literatura que demuestre la naturaleza compleja de las relaciones entre género y energía. Solamente se utiliza el término complejo como un adjetivo de las relaciones cualitativas que observan en las investigaciones. Y tampoco se analiza el problema usando las metodologías de los sistemas complejos. En la siguiente sección se describirá el análisis de redes, una de las herramientas que se usan para el análisis de los sistemas complejos. Se definirán intuitivamente e informalmente algunos parámetros relevantes para el análisis de redes.

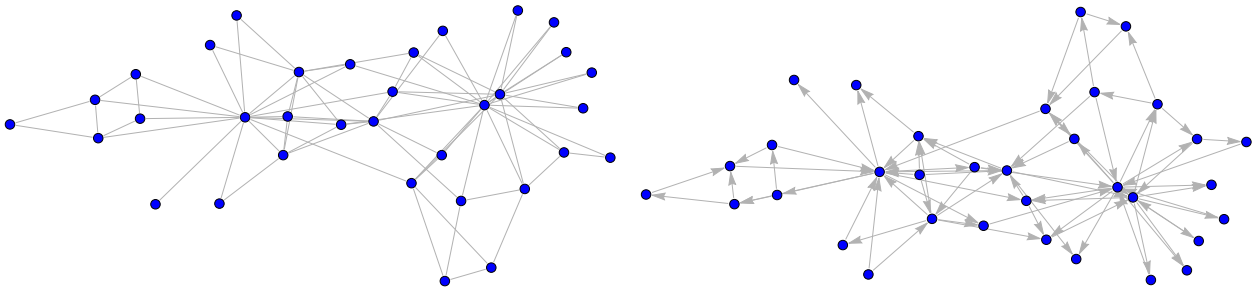
1.5. Análisis de redes

Las redes son una herramienta de estudio para los sistemas complejos. Las redes son modelos que se componen de elementos, llamados nodos o vértices, conectados entre sí. Las redes forman una estructura que permite analizar la relación de cada uno de los elementos y de todos los elementos como un completo [29]. Se le denomina *grafo* al concepto matemático, mientras que se denomina *red* a los grafos que buscan representar un sistema.

La *ciencia de redes* surge como disciplina al descubrir ejemplos de sistemas complejos y reconocer la posibilidad de las redes para modelar este tipo de sistemas [30]. Cada vez existen más ejemplos de modelos de redes para describir las propiedades de sistemas complejos y existe un continuo desarrollo en los fundamentos de los modelos de redes. Esto convierte a la ciencia de redes una disciplina relativamente nueva prolifera en ejemplos y con potencial para describir sistemas interconectados.

Existen diferentes tipos de redes en función del tipo de relaciones entre las conexiones y las características de los nodos y las conexiones:

- Redes simples:** Redes donde los nodos y las conexiones no tienen asociada ninguna propiedad externa como una ponderación. Sea G un grafo que está representado por un conjunto de nodos $N(G)$ y de conexiones $E(G)$. Las redes simples tienen la propiedad de que los elementos de $E(G)$ permiten $(u, v) = (v, u)$ para todo $u, v \in N(G)$, es decir, las conexiones van de una dirección del nodo a la otra sin distinción.
- Redes direccionadas:** Estas redes tienen una dirección definida. Las redes direccionadas tienen una jerarquía y pueden ser representadas por dendogramas. En este caso, la propiedad de las redes simples donde $(u, v) = (v, u)$ no cumple y tanto (u, v) como (v, u) son elementos definidos pero diferentes, por lo que $(u, v) \neq (v, u)$.



(a) Ejemplo de una red simple. La red muestra un conjunto de nodos (puntos azules) conectados (líneas grises) que representan las uniones entre los elementos del sistema.

(b) Ejemplo de una red direccionada. A diferencia de la red simple, la red direccionada sí indica un sentido en la unión de los nodos representada como el sentido de la flecha.

Figura 1-1: Ejemplos de redes simples y direccionadas.

- **Redes ponderadas.** En las redes ponderadas tanto los nodos como las conexiones pueden tener una peso que indica su importancia en el tránsito de la información. Para el caso de la ponderación en las conexiones, se le asocia un peso w_{ij} a la conexión e_{ij} entre el nodo i con el nodo j .
- **Redes bipartitas:** Las redes bipartitas son aquellas que hacen una diferencia entre los modos de los nodos. Es decir, existen dos tipos de nodos que se conectan entre ellos pero no se pueden conectar los nodos de un mismo tipo. Este tipo de redes se define cuando los nodos tienen cualidades diferentes. Una definición formal es que dado una red G es bipartita cuando el conjunto de nodos N se divide en dos conjuntos U, V de forma que todas las conexiones E unan un nodo de tipo U con un nodo de tipo V .

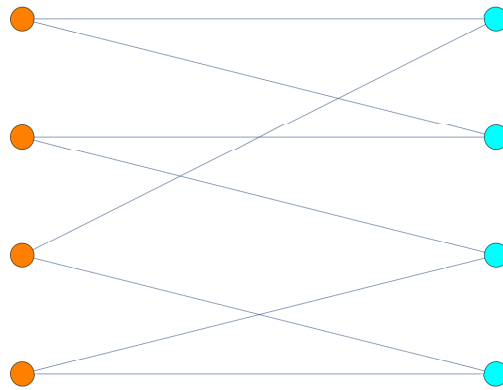


Figura 1-2: Ejemplo de una red bipartita. Como se puede observar, no existen conexiones entre los nodos de un mismo tipo. Es decir, no hay conexiones entre los nodos naranjas y los nodos azules. Todas las conexiones son entre los nodos naranjas y azules.

1.5.1. Parámetros de redes

Las redes son estructuras que caracterizan el sistema a partir de la relación de sus elementos. Existen diferentes parámetros numéricos de las redes que permiten caracterizarlas y traducirse en propiedades del sistema. A continuación se describen algunos parámetros de red:

- **Grado:** El concepto de grado es uno de los más fundamentales para el análisis de las redes. El grado de un nodo i está definido como un número k_i que representa las conexiones que tiene dicho nodo. Es decir, si un nodo está conectado con otros tres nodos tendrá un grado $k = 3$. El *grado promedio* $\langle k \rangle$ de un grafo es el valor promedio de grado de todos los nodos y es una propiedad global 1-1.

$$\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i, \quad (1-1)$$

La *distribución del grado* $P(k)$ es otro parámetro relevante en la descripción de las redes. La distribución del grado es una función de probabilidad de que dado un nodo al azar tendrá un grado k . Tiene las propiedades:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P(k) = \sum_{k=0}^{k_{max}} P(k) = 1, \quad (1-2)$$

y

$$\langle k \rangle = \sum_{k=0}^{\infty} kP(k) = \sum_{k=1}^{k_{max}} kP(k), \quad (1-3)$$

- **Fuerza:** La fuerza es el equivalente al grado en redes ponderadas. Cuando una red ponderada se asocia con un nodo se le denomina como *fuerza* del nodo y se puede describir de acuerdo a la ecuación 1-4

$$s_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}w_{ij}, \quad (1-4)$$

donde $A = [a_{ij}]$ se le conoce como la matriz de adyacencia del grafo, w_{ij} es el peso entre los nodos i y j . También se puede describir una *fuerza promedio* de la red $\langle s \rangle$ de forma análoga al grado promedio.

- **Densidad:** La densidad de una red ρ es el coeficiente entre el número de conexiones de la red con el número de posibles conexiones. Una red con densidad $\rho = 1$ tiene todas las conexiones posibles y se le denomina red completa. Para el caso de las redes bipartitas, se deben considerar las conexiones posibles entre ambos conjuntos de nodos U y V .
- **Coficiente de agrupamiento:** El agrupamiento en las redes describe si un nodo está conectado con dos nodos que están conectados entre sí. Se calcula a partir de la ecuación 1-5 para el nodo i y donde k_i es el grado del nodo i y E_i es el número de conexiones que se tienen entre los nodos vecinos k_i . El coeficiente de agrupamiento indica el coeficiente entre las conexiones reales y las posibles entre el grupo y los nodos conectados a i .

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}, \quad (1-5)$$

En el caso de las redes bipartitas, el coeficiente de agrupamiento está definido por la ecuación 1-6 donde $N(N(i))$ es el segundo orden de los vecinos de i en G excluyendo a i y c_{ij} es el coeficiente de agrupamiento de los nodos i y j . El coeficiente c_{ij} puede calcularse con la ecuación 1-7.

$$C_i = \frac{\sum_{j \in N(N(i))} c_{ij}}{|N(N(i))|}, \quad (1-6)$$

$$c_{ij} = \frac{|N(i) \cup N(j)|}{|N(i) \cap N(j)|}, \quad (1-7)$$

- **Centralidad por intermediación:** La centralidad por intermediación permite conocer la importancia de elemento en el sistema. Es decir, la relevancia que tiene un nodo o una conexión en dentro del sistema.

La centralidad por intermediación para un nodo $C_{(B)}(n)$ se define por la ecuación 1-8 donde L_{jl} es el número de todos los caminos más cortos entre el nodo j al nodo l y $L_{jl}(i)$ es el número de todos los caminos más cortos que pasan por el nodo j al nodo l que pasan por el nodo i .

$$C_B(n) = \sum_{j \neq l \neq i} \frac{L_{jl}(i)}{L_{jl}}, \quad (1-8)$$

De forma similar, la centralidad de intermediación para una conexión $C_B(e)$ se define por la ecuación 1-9 donde L_{lq} es el número de caminos más cortos del nodo l al nodo q y $L_{lq}(e_{ij})$ es el número de los caminos más cortos del nodo l al nodo q que pasan por la conexión e_{ij} .

$$C_B(e) = \sum_{(l,q) \neq (i,j)} \frac{L_{lq}(e_{ij})}{L_{lq}}, \quad (1-9)$$

- **Asortatividad-Disortatividad:** La asortatividad es un parámetro que indica la forma en la que los nodos tienden a conectarse entre ellos. En las redes existen nodos con alto grado y nodos con bajo grado. La asortatividad indica que los nodos de alto grado tienden a conectarse con los nodos de alto grado, mientras que la disortatividad indica que los nodos de alto grado tienden a conectarse con nodos de bajo grado.

Dada la ecuación 1-10 donde j_i, k_i son los grados de los nodos al final del i -ésimo nodo, con $i = 1, \dots, M$ [31].

$$r = \frac{M^{-1} \sum_i j_i k_i - [M^{-1} \sum_i \frac{1}{2}(j_i + k_i)]^2}{M^{-1} \sum_i \frac{1}{2}(j_i^2 + k_i^2) - [M^{-1} \sum_i \frac{1}{2}(j_i + k_i)]^2}, \quad (1-10)$$

donde $r \in [-1, 1]$. Si $r > 0$ la red es asortativa mientras que si $r < 0$ la red es disortativa. Si $r = 0$ los grados de los nodos en la red siguen una tendencia lineal.

1.5.2. Modelos de redes

Existen modelos de crecimiento y estructura de las redes que han sido caracterizados y que cuentan con propiedades específicas. El desarrollo de estos modelos permite identificar el tipo de red que se está describiendo y las propiedades en común que tiene con otros sistemas. Los modelos más reconocidos son:

- **Modelo de grafos aleatorios:** La teoría de grafos aleatorios es introducida por Paul Erdős y Alfred Renyi [32, 33]. Este tipo de modelo de red se caracteriza por un ser un modelo probabilístico para definir si un nodo se conecta con otro.
- **Modelo de red de mundo pequeño:** Las redes de mundo pequeño se caracterizan por la propiedad de que la distancia de los nodos es relativamente corta con respecto a toda la red. Uno de los ejemplos más característicos de este tipo de redes es el concepto de “seis grados de separación” de Milgram, que describe la relativa cercanía de todas las personas en el mundo [34]. Es posible utilizar la teoría de grafos aleatorios para generar redes de mundo pequeño agregando una restricción donde la distancia entre los nodos sea relativamente pequeña. Un modelo típico de estas redes es el de Watts-Strogatz [35].
- **Redes libres de escala:** Las redes de libres de escala tienen la propiedad de que su distribución de grado se caracteriza por una ley de potencia. Esto quiere decir que las interacciones entre los nodos se realizan en diferentes escalas, de ahí que se denominen libre de escala. Una variación a estas redes es el modelo de red de Barabasi-Albert, que describe una red libre de escala con la presencia de hubs (nodos centrales con alto grado) [36].

En este trabajo se usarán las diferentes métricas y herramientas del análisis de redes para obtener relaciones entre el consumo de energía y el género. Finalmente, en la siguiente sección se da un breve resumen de los conceptos relevantes descritos hasta y los objetivos propuestos para este trabajo.

1.6. Objetivos

Para utilizar la energía como un medio para promover una igualdad de género es importante tener un conocimiento más profundo del consumo de energía de las personas de acuerdo a sus características [37]. Es posible diseñar proyectos o programas energéticos que tengan un impacto en las relaciones de poder de las personas y fomenten una igualdad de género. Pero para esto es condición tener un conocimiento de las particularidades en el consumo de la energía de las personas de acuerdo a sus características.

Este trabajo explora la idea de analizar el sistema de consumo de energía y género como un sistema complejo. Se propone que un análisis de este tipo podrá brindar información sobre las variables importantes del consumo de energía de acuerdo a las características de las personas que integran el hogar. De esta forma se busca generar conocimiento de sus particularidades en el consumo de energía. Desde una perspectiva de sistema complejo es posible observar cómo es que interactúan diferentes tipos de hogares en su consumo de energía y poder observar sus propiedades como un sistema completo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología, basada en datos y en el análisis de redes, que permita estudiar las relaciones de género y energía como un sistema complejo. La metodología propuesta debe tener como base una perspectiva cuantitativa usando datos de encuestas nacionales oficiales. De esta forma se espera que las técnicas que se obtengan describan numéricamente las propiedades del sistema de consumo de energía y género.

Otro objetivo es generar información relevante para realizar un análisis cualitativo multidisciplinario con la colaboración de especialistas en las ciencias sociales. Para este análisis cualitativo se pretende proporcionar un marco de variables características para diferentes tipos de hogares. Este marco de variables proporcione una narrativa cualitativa que provea de hipótesis sobre las razones del consumo de energía de los diferentes tipos de hogares e identifique desigualdades de género.

La pregunta sobre cómo el género se relaciona con las prácticas de consumo de energía y cómo es que esta cuestión cambia de acuerdo al perfil socioeconómico, requiere de más investigación y métodos cuantitativos y cualitativos [38]. Este trabajo busca relacionar ambos enfoques, un análisis cuantitativo del sistema un marco de trabajo basado en datos para analizar las propiedades cualitativas. Esto proporciona un enfoque integral de las relaciones del consumo de energía y el género de las personas.

Capítulo 2

Metodología

La figura 2-1 se muestra un esquema general de la metodología que se siguió en este trabajo. Cada una de los pasos se describirá a detalle en este capítulo.

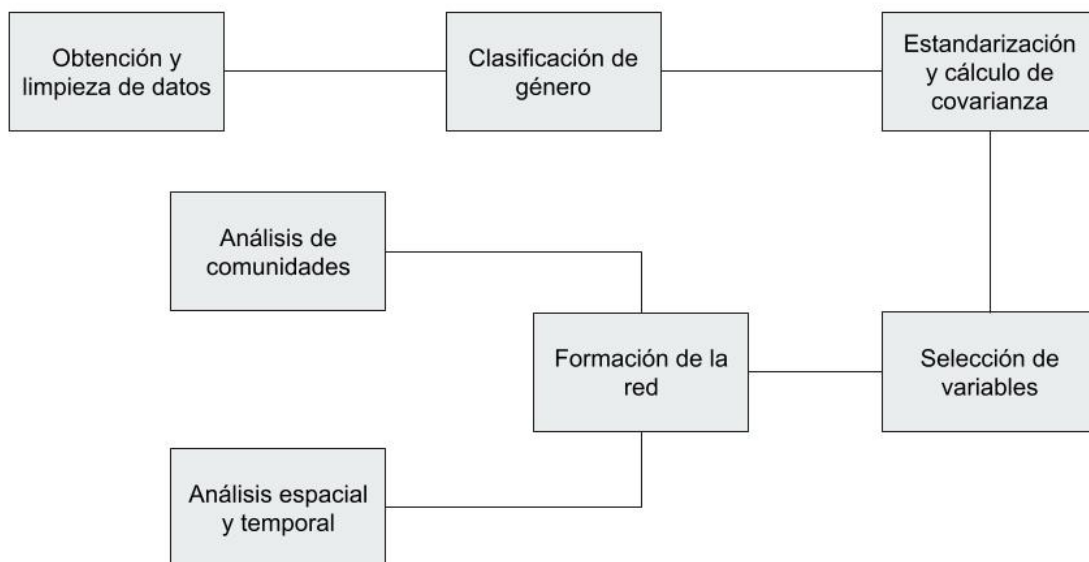


Figura 2-1: Esquema general de la metodología propuesta en este trabajo.

La metodología inicia con la obtención de una base de datos cuantitativa y el procedimiento que se siguió para coleccionar, limpiar y procesar la información. La información procesada tiene que ser relevante para modelar el sistema de **consumo de energía y género**. Los requisitos **mínimos** que requiere la base de datos para este propósito son:

1. Contener información que describa el consumo energético o los hábitos de consumo de energía y
2. Contener información que permita una clasificación de género de la población.

Estos son los requisitos mínimos para llevar a cabo la metodología propuesta en este trabajo. Son los requisitos mínimos debido a que el análisis propuesto busca obtener y relacionar la información tanto del consumo de energía y el género de las personas que integran los hogares. Sin embargo, las bases de datos no tienen que estar limitadas únicamente a esta información. De hecho, el análisis se enriquece al tener información variada y de diferentes dimensiones del sistema.

El enfoque de este trabajo es un modelado del sistema basado en datos. Como caso de estudio se usó la base de datos de la *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares* (ENIGH). En la siguiente sección se hace una descripción más detallada de la base de datos y se expone su relevancia para el análisis de este trabajo.

2.1. Descripción de la base de datos ENIGH

La ENIGH es una encuesta realizada por el *Instituto Nacional de Geografía y Estadística* (INEGI), tiene una periodicidad bianual y una representación nacional. De acuerdo al INEGI, la ENIGH tiene como objetivo:

“Proveer información estadística sobre el comportamiento de los **ingresos y gastos en los hogares...** además de ofrecer información acerca de las **características ocupacionales y socio-demográficas de los miembros del hogar**, así como presentar datos sobre las **características de la infraestructura de las viviendas y los equipamientos del hogar**” [39].

El *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social* (CONEVAL) usa la ENIGH para medir los niveles de pobreza en México debido a que el conjunto de información que proporciona es relevante para describir las condiciones económicas de la población [40].

La ENIGH tiene una naturaleza económica y muestra en términos de ingresos y egresos económicos la mayoría de la información. Una ventaja es que se enriquece con la información tanto de las condiciones socio-demográficas de las personas así como de las condiciones de

las viviendas y los hogares que habitan. La combinación de estas características permite a la ENIGH ser una base de datos que describa hábitos de consumo de las personas.

En este trabajo se tomaron en cuenta las encuestas ENIGH del año 2016, 2018 y 2020. Existen disponibles encuestas de la ENIGH desde 2008, sin embargo la encuesta ha sufrido diferentes modificaciones en su construcción y en la metodología de colección de datos. Las versiones de la ENIGH que se tomarán en cuenta para este estudio son las más recientes y se les reconoce como *ENIGH nueva serie*. De esta forma se disminuye la incertidumbre al tener una base de datos que recopila la información de forma consistente, aunque limita la posibilidad de usar una ventana de tiempo más amplia.

La ENIGH cuenta con tres niveles de descripción:

- **Viviendas:** Se entiende como el espacio delimitado por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente y que se construyó para la habitación de personas o que al momento del levantamiento se utiliza para vivir, es decir: dormir, preparar alimentos, comer y protegerse del ambiente.
- **Hogares:** Es la unidad formada por una o más personas, unidas o no por lazos de parentesco, que residen habitualmente en la misma vivienda y se sostienen de un gasto común para la alimentación.
- **Personas:** Describe características particulares de las personas que habitan los hogares y las viviendas, como lo son el sexo, los rangos de edad, auto adscripción étnica, etc.

Estos niveles de descripción son contenidos unos con otros, es decir, las personas se agrupan en diferentes hogares y uno o más hogares se pueden agrupar en viviendas.

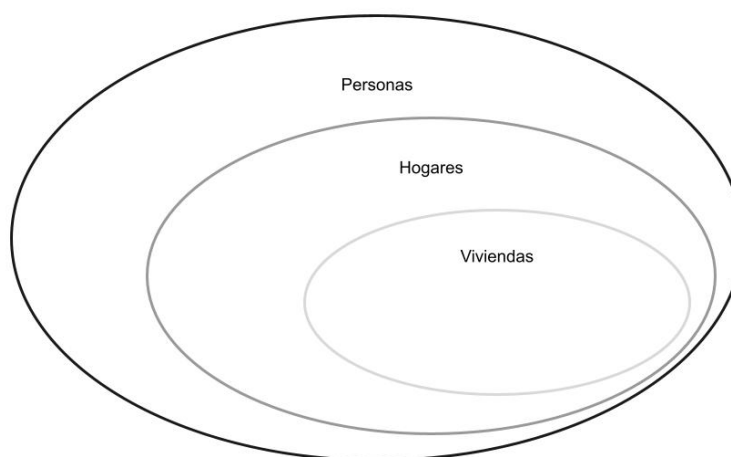


Figura 2-2: Diagrama de Venn de los niveles de descripción de la ENIGH

La ENIGH separa su información en diferentes tablas con múltiples niveles de descripción. Para este trabajo se tomaron en cuenta las tablas **VIVIENDAS, HOGARES, CONCENTRADOHOGAR** y **POBLACION**. Las primeras tres tablas corresponden a un nivel de viviendas y hogares, mientras que la última a nivel de personas. En la figura 2-2 se muestra en términos de conjuntos la composición de los niveles de descripción, siendo el conjunto más grande el de las personas hasta llegar a viviendas.

Para hacer homogéneo el análisis de los datos se trasladó toda la información a nivel de personas, sin perder la información a nivel de viviendas y hogares. De esta forma, se puede acceder a información a nivel persona y poder reconocer también las características que tiene en el hogar y la vivienda que integra. Para esto se asignó la información de hogar a las personas que integran un mismo hogar y los de vivienda a los hogares que integran una misma vivienda.

Al final de este proceso nos queda una base de datos que integra una gran cantidad de información disponible. Dependiendo del año de análisis cambia el número de variables y personas encuestadas, pero ronda cerca de las 500 variables analizadas y del orden de cientos de miles de personas. Además, las variables analizadas no son de un solo tipo. Hay variables binarias, categóricas y continuas. El siguiente reto para esta metodología fue desarrollar un proceso que permita limpiar y clasificar la base de datos. En la siguiente sección se describe el proceso que se llevó a cabo para esta limpieza de datos.

2.2. Limpieza de la base de datos

Uno de los retos de este trabajo es trabajar con datos de diferente categoría. En esta sección se describe el procedimiento para trabajar con la información de la encuesta ENIGH.

El primer paso fue organizar los datos a la encuesta ENIGH para su manipulación y uso eficiente, lo que se denomina “limpieza”. La limpieza tiene como objetivo procesar los datos que no está aportando información relevante y homologar la estructura de la información para su procesamiento. Con información relevante no me refiero a información determinada *a priori*. Existen por la misma naturaleza de la encuesta, variables que sistemáticamente no tienen una respuesta por parte de la persona encuestada. La ausencia de información en este caso es muy delicada porque el procedimiento para extrapolar puede agregar sesgos importantes en términos cualitativos. Es por esto que decidí eliminar del análisis toda la información nula, es decir, cualquier rubro en el que no exista una respuesta o sea con caracteres inválidos.

Previo a remover la información nula, se analizó la proporción de información nula de cada variable. En la ecuación 2-1 se define la proporción de valores nulos n_i donde i es el indicador para cada variable de la encuesta, v_i es el número de valores nulos de la variable i y v_T es el

número total de datos. De esta forma $n_i = [0, 1]$, donde $n_i = 0$ corresponde a que la variable i tiene toda la información (no tiene valores nulos) y $n_i = 1$ tiene toda la información nula. En la figura **2-3** se muestra un histograma de n_i para la ENIGH-2016. Se observa que existen variables cuya ausencia de información es muy alta y tiende a un valor $n_i = 1$. Este mismo comportamiento se observa en otros años de la encuesta y es sistemático para la ENIGH.

$$n_i = \frac{v_n}{v_T}, \quad (2-1)$$

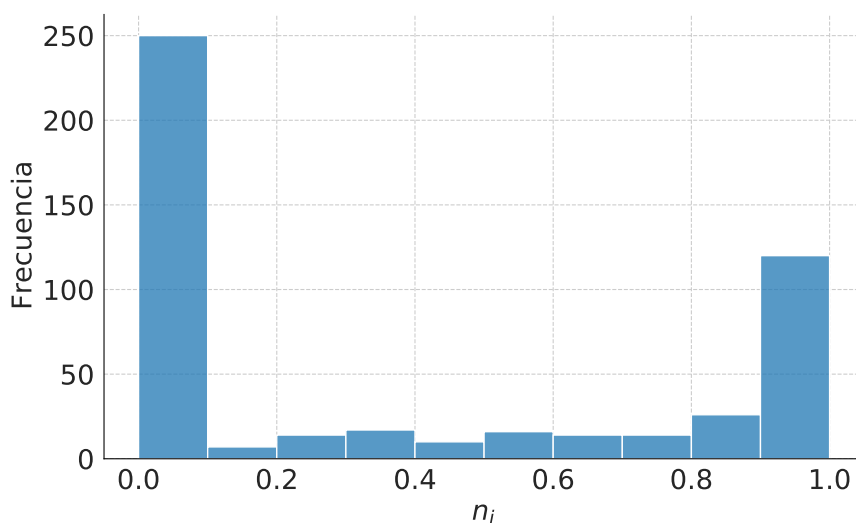


Figura **2-3**: Histograma de la proporción de valores nulos n_i de la encuesta ENIGH-2016

Para mantener la mayor cantidad de información posible se removieron las variables que tienen un valor $n_i > 0.1$. Es decir, se removieron las variables con más del 10% de información nula. De esta forma, al hacer la limpieza de los valores nulos de todo el conjunto de datos se puede conservar una mayor cantidad de personas en el análisis. En la figura **2-4** se muestra el histograma de n_i después de remover las variables con $n_i > 0.1$. Este histograma muestra que casi todas las variables que se mantienen cuentan con una proporción de valores nulos menor al 1% y pocas variables con una proporción mayor.

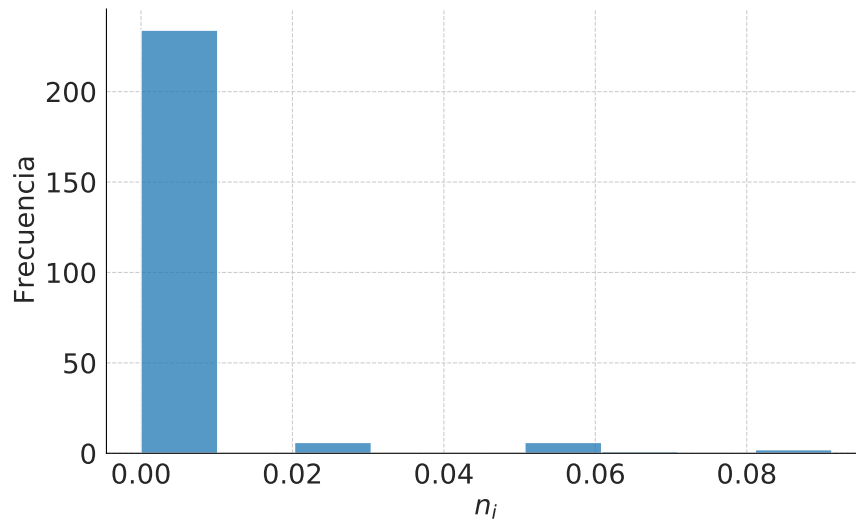


Figura 2-4: Histograma de la proporción de valores nulos n_i de la encuesta ENIGH-2016 después de remover las variables con $n_i > 0.1$

Después de remover las variables se eliminan todas las personas que tienen al menos un valor nulo en sus respuestas. Se eliminan también los valores de la encuesta que no están determinados desde el momento que la INEGI procesó la información (valores que tienen caracteres especiales que indican indeterminación). Además de este procedimiento, no se realizó otro procesamiento de los datos en lo que se refiere a la limpieza. En el cuadro 2-1 se muestra la cantidad de personas y variables que resultan después de la limpieza de datos para las encuestas ENIGH-2016, ENIGH-2018 y ENIGH-2020. Se puede observar que se mantiene más del 75 % de las personas, más del 80 % de los hogares y las viviendas y poco más del 50 % de las variables totales de la encuesta.

Cuadro 2-1: Número de personas, hogares, viviendas y variables procesadas durante la limpieza de los datos de la ENIGH 2016, 2018 y 2020

ENIGH	Personas			Hogares			Viviendas			Variables		
	Num	Num Limpios	%	Num	Num Limpios	%	Num	Num Limpios	%	Num	Num Limpios	%
2016	285,569	218,782	76.6	88,737	72,528	81.7	69,169	58,094	83.9	488	249	51.0
2018	299,746	230,315	76.8	94,975	77,713	81.8	73,405	61,475	83.7	489	250	51.1
2020	345,229	272,960	79.0	108,402	90,656	83.6	87,754	74,940	85.4	495	258	52.1

Una vez que se limpió la base de datos, el siguiente paso es la clasificación que corresponde al género de las personas. En la siguiente sección se describe a detalle cómo se realizó esta clasificación.

2.3. Clasificación de género

El propósito de este trabajo es encontrar relaciones entre el consumo de energía y el género. Realizar una clasificación de género en este contexto es un desafío conceptual en el que se involucran diferentes corrientes de pensamiento y definiciones del concepto de género.

Históricamente el concepto de género ha sufrido modificaciones a lo largo de la historia y su significado aún sigue en discusión. En un inicio se asoció la palabra género como una forma aceptada en el ámbito académico para referirse al sexo biológico de las personas [41]. Esta definición resulta insuficiente porque ignora la participación de la sociedad en la construcción de los roles.

La definición de género para este trabajo se entiende como la *construcción social* de los comportamientos que deben tener las personas en base a su sexo y otros factores como la clase social, la etnicidad, edad, entre otros. Esta última definición busca hacer evidente tres aspectos importantes para la concepción de género:

1. El concepto de género está relacionado con la percepción que tiene la sociedad del sexo de las personas.
2. El género es una construcción social y al ser una construcción social, es variable en tiempo y espacio. Es decir, el concepto de masculino, femenino y géneros no binarios cambia de acuerdo al lugar y al tiempo en el que se ubican.
3. El género está relacionado con otros factores como son la etnicidad, la clase social, la edad, entre otros. Un enfoque más reciente que busca hacer evidente este aspecto es la interseccionalidad [3, 42, 43].

La discusión que se haga en este trabajo está limitada por lo que como autor interpreto de los roles de género y delimitado por la sociedad en la que vivo. Este asunto es importante debido a que como se mencionó, el análisis de género es altamente dinámico y la interpretación que se tiene hoy aunque busque ser “objetiva” está dictaminada por una subjetividad natural.

Sin embargo, esto no implica que no existirá la búsqueda de una interpretación objetiva y que se considera el asunto desde una perspectiva general. Es importante que exista un proceso de deconstrucción cuando se realiza trabajo en esta área de estudio que tiene que ser continuo y crítico. El análisis en este trabajo aspira a ser de esta forma.

Para la definición de género que se propone en este trabajo se busca reconocer características que son importantes en la descripción del consumo de energía de las personas. Carlsson-Kanyama describe desde un punto de vista de cambio de comportamiento, características que pueden ser relevantes en el consumo de energía de los hogares. Entre ellos: “el género

y la edad de los miembros del hogar son importantes para el comportamiento energético residencial” [44]. Describe otras características relevantes como el ingreso, el nivel socio-económico, la cultura de origen, la etnicidad, entre otros.

Si tomamos en cuenta esta definición de género y en base a la información de Carlsson-Kanyama, para realizar la clasificación de género de este trabajo estoy considerando las siguientes características:

- **Nivel de representación de hogares para el consumo de energía:** Se considerará a los hogares como la unidad mínima de estudio. Las descripciones que se hacen van de acuerdo a las características de las personas que integran los hogares, sin embargo la descripción mínima en lo que respecta al consumo de energía es del hogar. Esta consideración proviene debido a que la información de consumo de energía de la ENIGH se expresa a nivel de hogares y no de personas.
- **Sexo del representante del hogar:** La determinación de la persona representante del hogar (o como lo maneja la ENIGH jefe(a) del hogar) es un indicador de la persona encargada de la toma de decisiones en el hogar y puede influenciar el consumo energético.
- **Rango de edad de las personas que viven dentro del hogar:** El rango de edad de las personas que integran el hogar también puede describir características sobre las dinámicas de consumo de energía de las personas.

Estas características buscan clasificar a los hogares de acuerdo al sexo de la persona representante del hogar (PRH) y de la edad de sus integrantes. Esta es la dimensión de género considerada en este trabajo y a partir de ahora se referirá como **clasificación de hogares (CH)**. Algunos comentarios sobre esta clasificación es que permiten describir a detalle patrones de consumo referentes a la edad y al sexo de la persona que toma las decisiones en el hogar, viendo el panorama del consumo de una forma más completa con respecto a las personas que integran los hogares.

Esta clasificación de género no pretende ser un indicador de los parámetros relevantes en el análisis de género. A pesar de que esta clasificación integra más elementos, sigue siendo limitada por una segregación de sexos debido a la información disponible. Es decir, esta clasificación es una extensión de la segregación de sexo al agregar el rango de edad de las personas. Pero sigue sin ser capaz de integrar todos los elementos que pueden contribuir a la literatura de género.

En la ENIGH existen variables que permiten realizar esta clasificación de hogares. La variable *sexo_jefe* determina el sexo biológico de la persona representante del hogar. Para conocer las edades de las personas que integran los hogares se usan las variables *Adultos* que es el

número de personas entre 12 y 64 años en el hogar, *Menores* el número de personas menores a 12 años en el hogar y *Mayores* el número de personas de edad mayor o igual a 65 años en el hogar. La combinación de estas variables permite clasificar a todos los hogares. En el cuadro **2-2** se muestran las diferentes categorías y el código con el cual se identifican.

Cuadro **2-2**: Descripción de la clasificación de hogares. Se considera el rango de edad de todas las personas que integran del hogar así como el sexo de la persona representante del hogar. Menores son las personas menores de 12 años de edad, los Adultos son las personas entre 12 y 64 años de edad y los Mayores son las personas de 65 o más años de edad. Esta clasificación se tomó directamente de la definición del INEGI.

Sexo PRH	Adultos	Menores	Mayores	CH	Descripción
Mujer	✓			M1	Mujer tomadora de decisiones que vive con adultos
	✓	✓		M2	Mujer tomadora de decisiones que vive con adultos y menores
	✓		✓	M3	Mujer tomadora de decisiones que vive con adultos y mayores
		✓	✓	M4	Mujer tomadora de decisiones que vive con mayores y menores
			✓	M5	Mujer tomadora de decisiones que vive con mayores
	✓	✓	✓	M6	Mujer tomadora de decisiones que vive con adultos, mayores y menores
Hombre	✓			H1	Hombre tomador de decisiones que vive con adultos
	✓	✓		H2	Hombre tomador de decisiones que vive con adultos y menores
	✓		✓	H3	Hombre tomador de decisiones que vive con adultos y mayores
		✓	✓	H4	Hombre tomador de decisiones que vive con mayores y menores
			✓	H5	Hombre tomador de decisiones que vive con mayores
	✓	✓	✓	H6	Hombre tomador de decisiones que vive con adultos mayores y menores

En esta clasificación se considera si existe al menos una persona con el rango de edad descrito. El tipo de relación o parentesco de las personas que integran el hogar es información que no se incluye en esta clasificación, por lo que no se pueden hacer aseveraciones sobre el tipo

de hogar (si es unipersonal, nuclear, compuesto, etc). Sin embargo, conocer como consumen energía los hogares en base a el sexo de la persona que toma las decisiones y en base a el rango de edad de las personas que lo integran puede resultar interesante para encontrar patrones de consumo o similitudes entre los diferentes grupos.

Con esta clasificación de género como caso de estudio, el siguiente paso es conocer cuáles variables de la encuesta son las más importantes en lo que se refiere a su consumo de energía. En la siguiente sección se describe el procedimiento que se realizó para hacer comparables todas las variables y determinar su influencia en el consumo de energía.

2.4. Estandarización de las variables y cálculo de la covarianza con la variable *energía*

La ENIGH tiene una variable que describe gasto monetario relacionado a la energía que consume el hogar. La variable *energía* describe los gastos en electricidad y combustibles que realiza el hogar. En México, el gasto monetario en energía no es equivalente al consumo de energía en unidades físicas (kWh). Esto es porque la electricidad se cobra en diferentes tarifas de acuerdo al registro histórico del consumo energético del hogar. Además, el precio de los combustibles también varía por zona geográfica. A pesar de estas limitantes, supondré para este trabajo que la variable energía representa el consumo de energía del hogar.

La ENIGH cuenta con otras variables que describen diferentes aspectos de los hogares y las personas que los integran. Esta diversidad de información aporta mucho porque da un panorama amplio del estilo de vida y de sus hábitos de los habitantes del hogar. Pero también es un reto describir el impacto de cada variable en el consumo de energía de los hogares.

Trabajos previos realizan diferentes enfoques de cómo resolver esta problemática [26, 45, 46]. Uno de ellos es la selección *a priori* de las variables para analizar su impacto individual en el consumo de energía. Este tipo de enfoque tiene una percepción reduccionista, donde se aísla el sistema de la interacción con otras variables y describe un sistema simplificado de otras interacciones.

El objetivo de este trabajo es modelar el sistema como un sistema complejo. Pretende capturar la interacción de las personas con su hogar, con características propias de la persona, de las demás personas que integran los hogares y su consumo de energía. Es un enfoque que une las decisiones en términos de consumo de energía y las condiciones propias de sus habitantes, de las condiciones con los que comparte un hogar y del mismo entorno físico que construye el hogar o la vivienda, es decir, los equipamientos, los materiales, los servicios con los que cuenta, etc.

La ENIGH cuenta con variables de diferente tipo (binarias, continuas, categóricas, etc). Esto

genera tres principales complicaciones:

1. Existen variables que su asignación numérica es arbitraria.
2. Existen variables que su asignación numérica sí representa un incremento o decremento de la unidad que describen.
3. Existen ordenes de magnitud muy diferentes entre variables.

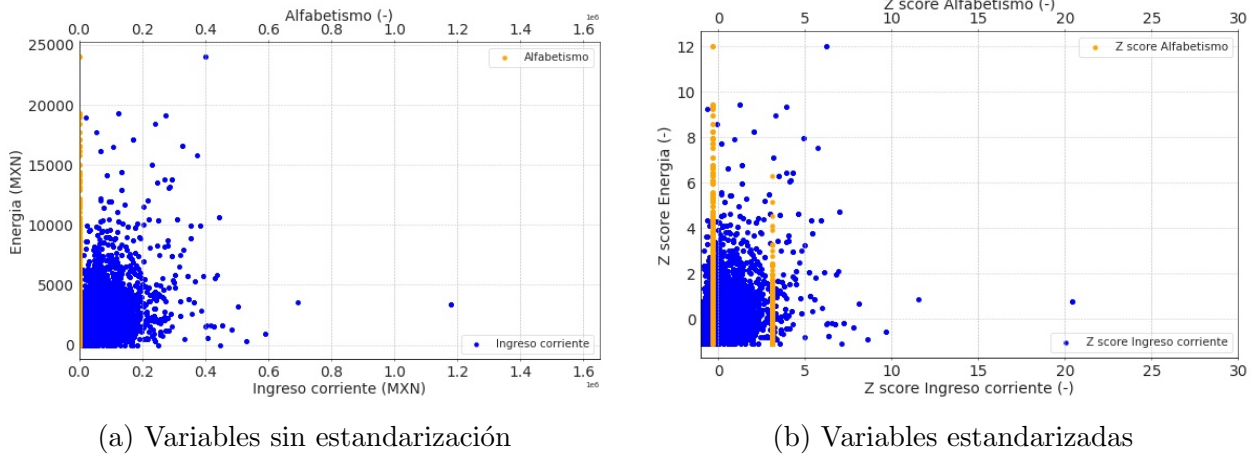
Por ejemplo, dentro de la ENIGH existe la variable binaria *alfabetismo* que determina si las personas son capaces de escribir un recado 1) sí y 2) no. Y existe la variable continua *ingreso corriente* que se refiere a los ingresos corrientes que percibe un hogar.

Para la variable *alfabetismo* la asignación del valor numérico es arbitrario, lo que quiere decir que no tiene una relación un valor de alfabetismo 2 (no puede escribir un recado) sea 2 veces mayor a un nivel de alfabetismo 1 (sabe escribir un recado). El caso contrario sí sucede con la variable *ingreso corriente* y en general con todas las variables continuas que representan ingresos y gastos. El problema viene de esta diferencia en los significados y tipos de las variables. Además, las dimensiones de algunas variables es los órdenes de miles o cientos de miles y no es comparable con los de otras variables del orden de unidades.

Se usó la estandarización *Z*-score para normalizar todas las variables (ecuación 2-2), donde d_i es el i -ésimo valor del set de datos de la variable d , $\mu(d)$ es la media de todos los valores de la variable, $\sigma(d)$ es la desviación estándar de la variable y Z es el valor estandarizado. Esta estandarización tiene la característica de trasladar todas las variables a un espacio común, con media cero y con desviación estándar uno.

$$Z = \frac{d_i - \mu(d)}{\sigma(d)}, \quad (2-2)$$

La estandarización se realizó para cada una de las clasificaciones de hogares. De esta forma asegura de que cada una de las variables de las clasificaciones de hogares son comparables a la información contenida en su propia clasificación de género.



(a) Variables sin estandarización

(b) Variables estandarizadas

Figura 2-5: Diferencia entre la comparación de las variables *ingreso corriente* y *alfabetismo* con la variable *energía* sin estandarización y con estandarización

La figura 2-5 muestra un ejemplo comparando las relaciones entre las variables de *energía-ingreso corriente* de color azul y las variables *energía-alfabetismo* de color naranja. En la figura 2-5a las dimensiones de la variable de alfabetismo no son comparables con los ingresos corrientes. El caso contrario sucede con la figura 2-5b donde ahora las variables, a pesar de ser de diferente tipo, se ubican en un mismo espacio comparable.

Después se calculó la covarianza de todas las variables con respecto a la variable *energía* como se expresa en la ecuación 2-3, donde e_i es el i -ésimo valor de la variable *energía* y $E[e]$ es la expectativa de la variable *energía*. La covarianza describe la alteración de cada una de las variables con el consumo energético de los hogares.

$$\text{Cov}(X, e) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - E[x])(e_i - E[e]), \quad (2-3)$$

El valor de la covarianza entre dos variables tiene una interpretación geométrica. La característica de la estandarización Z-score traslada los datos con $\mu = 0$ y $\sigma = 1$. Con esto, el cálculo de la covarianza se modela como una distribución gaussiana multivariada. Esto permite comparar todo tipo de variables bajo un mismo modelo y ver gráficamente la influencia de las variables sobre el consumo de energía.

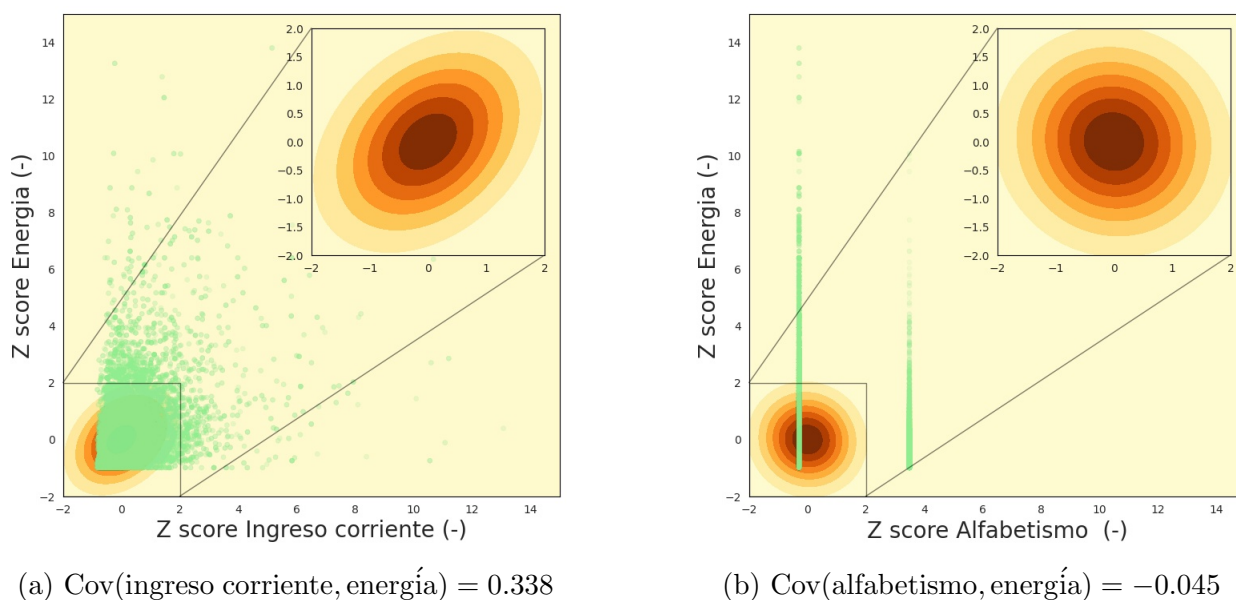


Figura 2-6: Representación gráfica de los valores de covarianza para las variables energía-ingreso corriente y energía-alfabetismo. La variable de ingreso corriente tiene una mayor relación con el consumo energético de los hogares, lo que representa un mayor valor de covarianza y una distribución más sesgada.

La figura 2-6 muestra los valores Z-score calculados de las variables *energía*, *ingreso corriente* y *alfabetismo*. Se muestra la distribución gaussiana multivariada resultante con sus parámetros. Las variables *energía-ingreso corriente* se muestra en la figura 2-6a, con una covarianza de 0.338 que representa una ligera tendencia de variar juntas. La figura 2-6b grafica las variaciones de las variables *energía-alfabetismo* con un valor de covarianza de -0.045 . A pesar de ser una variable binaria captura el cambio que tiene entre el alfabetismo y el consumo de energía. Un valor más bajo de covarianza representa una distribución gaussiana multivariada menos inclinada y el signo hace que la dirección de la distribución cambie indicando anti-correlación.

La figura 2-7 es un mapa de colores de los valores absolutos de covarianza para cada clasificación del hogar para los datos de la ENIGH-2016. Algunas variables indican una alta influencia en todas las clasificaciones de hogares como la variable *gasto_mon* que representa el gasto monetario de los hogares. Otras clasificaciones de hogares tienen variables de la ENIGH con altos valores de covarianza, como los hogares M_4 y H_4 que representan los hogares con personas mayores. A pesar de ser una representación primitiva describen comportamientos de consumo de energía para cada clasificación del hogar.

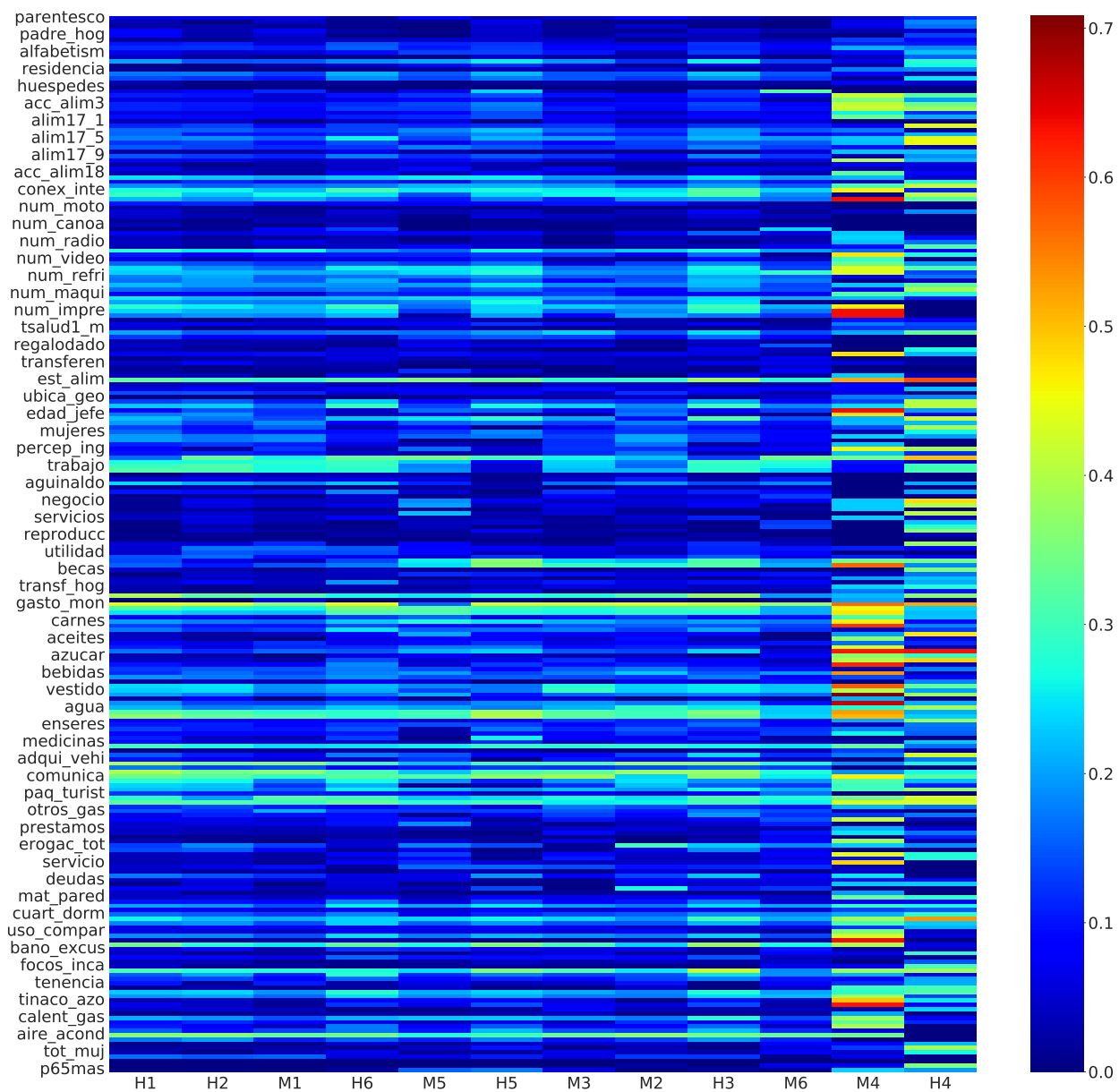


Figura 2-7: Mapa de colores de los valores de covarianza entre variables y clasificaciones del hogar para el año 2016

2.5. Representatividad de las variables en el consumo de energía para cada clasificación del hogar

Los valores de covarianza proporcionan una idea general de la importancia de todas las variables en el consumo de energía. Sin embargo, debido al alto número de variables su

análisis sigue siendo muy complicado y en particular para un análisis cualitativo.

Se usó una metodología similar a *componentes principales* para capturar la relevancia de cada variable en el consumo de energía de cada clasificación de hogares. El objetivo es reducir la dimensionalidad del consumo de energía en cada clasificación de hogares manteniendo la mayor información posible. De esta forma se obtiene un conjunto de variables de menor tamaño que el inicial. La metodología usada difiere de *componentes principales* debido a que no se obtiene una combinación lineal de las variables, sino que mantienen cada una su información.

Las combinaciones lineales que resultan de los *componentes principales* podrían dar información cualitativa al describir conjuntos de variables relevantes en el consumo de energía y darles un significado. Sin embargo, como primer esfuerzo para este trabajo decidí usar la idea de una lista ordenada de variables sin llegar a realizar la combinación lineal propia del método *componentes principales*.

Se formó la lista ordenada de las variables de acuerdo a su valor de covarianza con respecto a la variable *energía*. Es decir, se creó la lista ordenada $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{N-1}, x_N\}$ donde $x_i = \text{Cov}(i, \text{energía})$ y $x_{i-1} > x_i$, de manera que estén ordenadas de mayor a menor. Ordenarlas de esta forma tiene como objetivo colocar primero las variables que son más relevantes en el consumo de energía de los hogares.

Se define como *representatividad* al valor absoluto acumulado de covarianza para cada variable de cada una de las clasificaciones de hogares (ecuación 2-4). Tiene las características $\text{Rep}(x_N) = 1$, donde N es la última variable en la serie ordenada. De esta forma la última variable que tiene el menor valor de covarianza es la que tiene la representatividad del 100%. Eso debido a que al integrarla se sumaron el resto de las variables y la descripción del consumo de energía para la clasificación del hogar queda completa. Esto es similar a una función de probabilidad acumulada.

$$\text{Rep}(x_i) = \left| \sum_{j=0}^i \text{Cov}(j, \text{energía}) \right|, \quad (2-4)$$

La figura 2-8 muestra una gráfica de la serie ordenada y la representatividad de cada variable en una escala log-log. La representatividad de las variables sigue aproximadamente una línea recta en una escala logarítmica. Esto indica que el incremento en la representatividad de cada variable no es lineal, sino que sigue una ley de potencia. Esta característica es importante porque describe un comportamiento similar a una distribución de Pareto donde pocas variables son la que representan más el consumo de energía mientras que muchas variables aportan poco a la descripción del consumo de energía. Este comportamiento es análogo a la distribución de la riqueza que identificó Pareto. Esta ley de potencia en la descripción de energía sucede en todas las clasificaciones de los hogares.

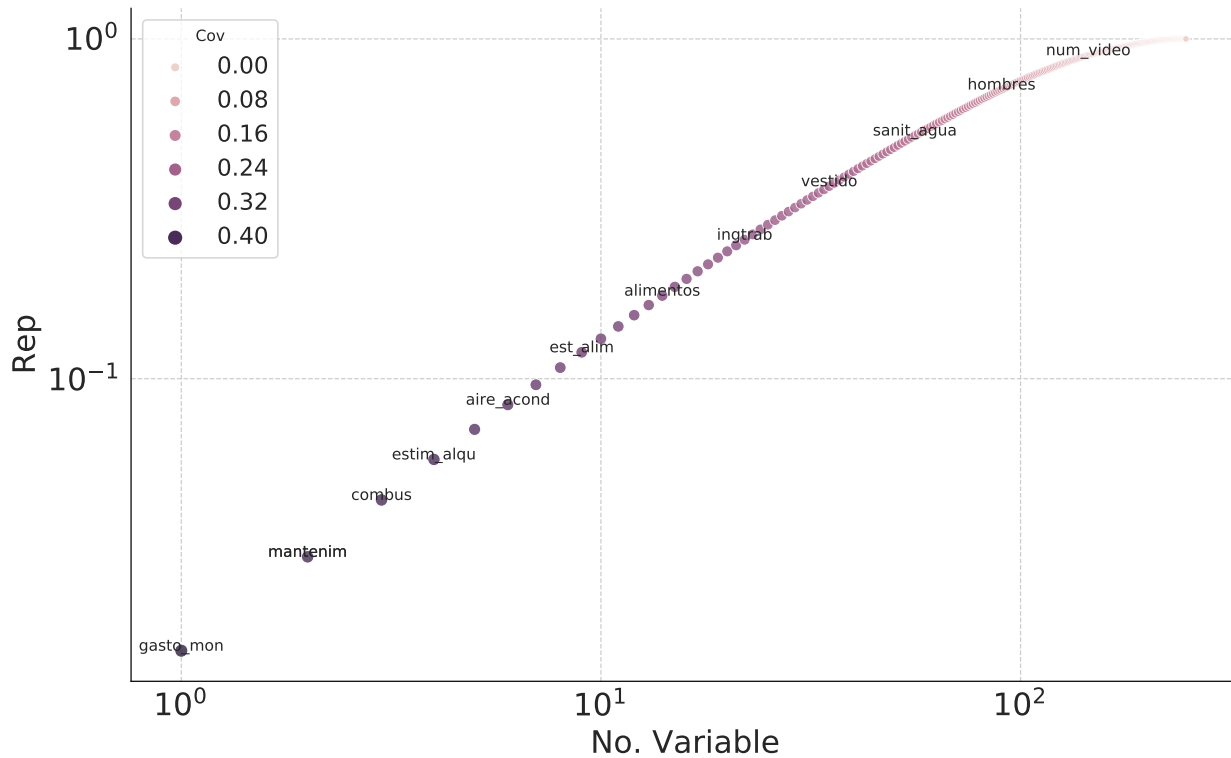


Figura 2-8: Representatividad de cada variable de acuerdo a la serie ordenada de variables X en una escala logarítmica.

Para determinar el número de variables óptimo que describan el consumo de energía se definió un criterio de selección. El criterio multiplica el valor de covarianza de cada variable con la representatividad y se tomó el máximo valor como el criterio de selección de las variables (ecuación 2-5). Calcular el criterio de selección de esta forma desecha las últimas variables de la serie ordenada, debido a que no aportan mucha información del consumo de energía y evita mantener únicamente las primeras variables que tienen la mayor covarianza.

$$x_m = \max\{\text{Rep}(X)\text{Cov}(X, \text{energía})\}, \quad (2-5)$$

La figura 2-9 es una forma gráfica el proceso de multiplicación de las variables para encontrar el criterio de selección. Las variables con alto valor de covarianza se ven minimizados por su baja representatividad y sucede lo mismo para los valores bajos de covarianza. El punto rojo representa la variable que satisface el criterio de selección x_m .

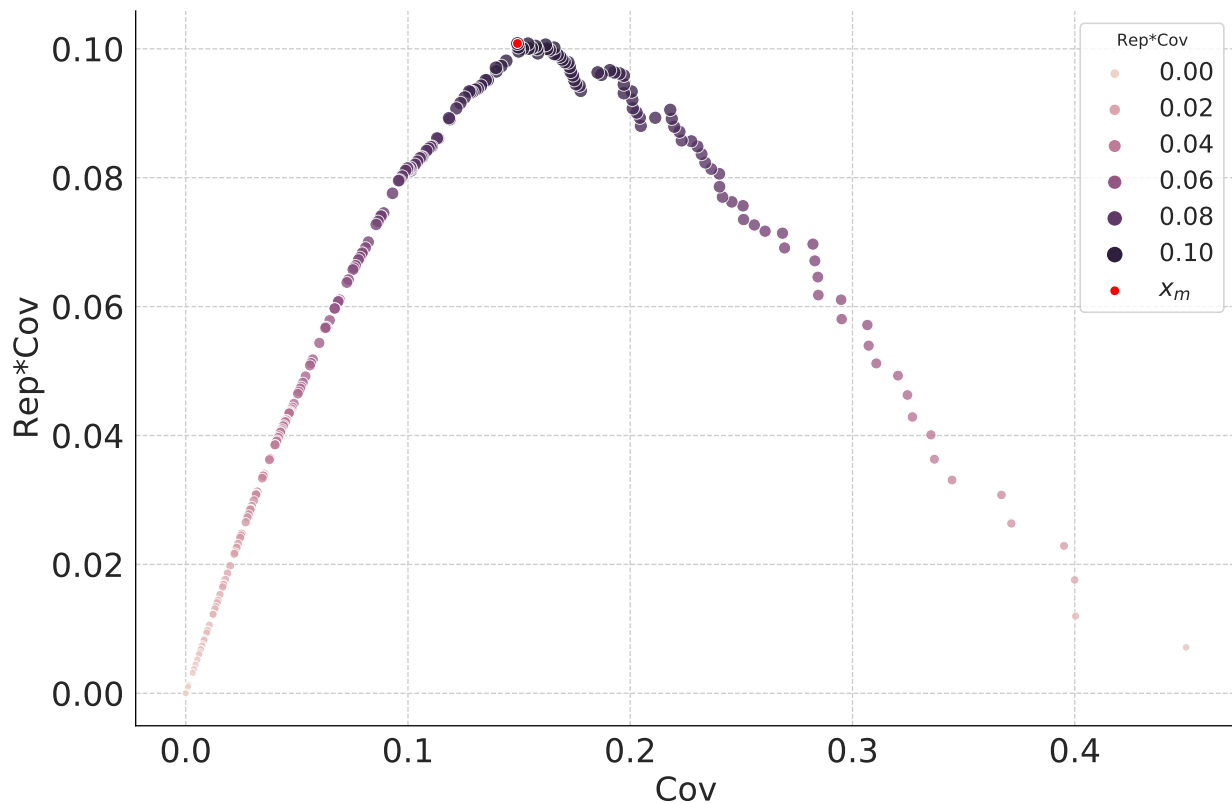


Figura 2-9: Representatividad multiplicada por la covarianza de cada variable para la clasificación de hogar hombre con adultos (H1). El punto rojo es el valor máximo que sirve para determinar el valor de representatividad a analizar en este trabajo.

La representatividad del consumo de energía se define como $Rep_m = Rep(x_m)$ y genera una nueva lista de variables $X^* = \{x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m\}$, que es la lista de variables X truncada hasta el elemento m . El objetivo de esta nueva lista X^* es desechar las variables que no aportan mucha información del consumo de energía pero que mantenga aquellas que influyen más en su descripción. Este procedimiento hace que sea diferente a una distribución de Pareto y tiene como ventaja que nos quedamos con un menor número de variables que describen el consumo de energía. Una limitante del procedimiento es que al obtener el valor absoluto de la covarianza, perdemos el sentido de correlación o anti-correlación. Por esta razón no se detectan variables que son inversos al consumo de energía. De cualquier forma, quedarán representadas en la red las variables que más influyen en el consumo de energía, pudiendo expresar ya sea que provocan incrementos en el consumo o reducción en su consumo, aunque perdemos la información de cuál corresponde.

Se definió la lista de variables más representativas X^* para todas las clasificaciones de hogares. La línea azul de la figura 2-10 muestra cómo cambia Rep_m para cada clasificación del hogar y la línea verde el número de personas que entran en cada clasificación de hogares para

el año 2016. Esta gráfica demuestra la independencia del criterio de selección Rep_m con el número de personas de cada clasificación del hogar. Esto es relevante porque la distribución de personas para cada clasificación es considerable, sin embargo el método logra mantener esta independencia en la selección de variables.

Con esto se busca describir mejor las relaciones de clasificaciones de hogares que sean minorías donde otros métodos estadísticos fallan debido a que la mayoría de la población entra en pocas clasificaciones. Por ejemplo el caso de México las categorías de los adultos con mayores (M3-H3) y adultos (M1-H1) para ambos sexos. La mayoría pondera más y describe fenómenos que les sucede al grueso de la población, pero hace invisibles a los grupos minoritarios. En esta metodología coloca los grupos minoritarios como los mayores con menores (M4-H4) en un plano comparativo sin perder la información relevante de cada uno. De otra forma, estos grupos se hubieran promediado con el grueso dando un enfoque de un sistema de complejidad desorganizada.

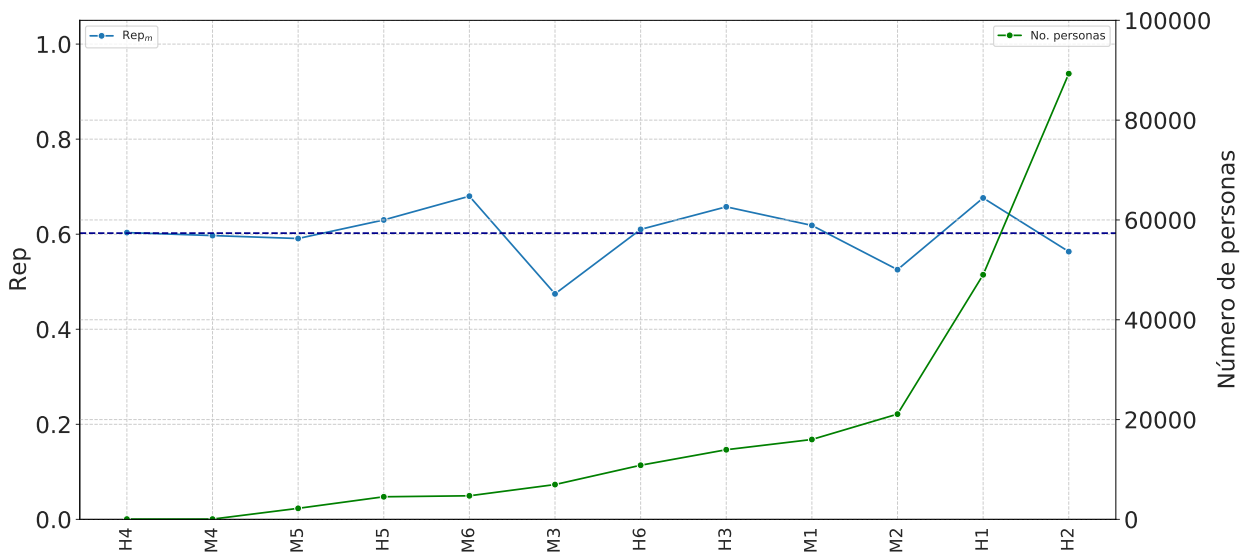


Figura 2-10: Valores de Rep_m y el número de personas por clasificación de hogar. Se observa que independientemente del número de personas que entran en la clasificación de hogar, el valor de Rep_m fluctúa alrededor del 60%. La línea punteada muestra el promedio de Rep_m para las clasificaciones de hogar y tiene un valor de $\overline{Rep_m} = 0.6003$

Decidí tomar el promedio de los valores del criterio de selección Rep_m , definiendo la nueva cantidad $\overline{Rep_m}$ para encontrar el valor central en el que fluctúan. Para el año 2016 se tiene $\overline{Rep_m} = 60.03\%$ (línea punteada) y en los otros años se obtiene un valor similar.

La figura 2-11 muestra la matriz de covarianza de las nuevas listas de variables X^* . Con este procedimiento existe inherentemente una pérdida de información del set de variables completo debido a que se trunca la serie de información completa. La información que se

mantiene busca ser aquella que detecte características propias del consumo de energía de cada clasificación del hogar y que lo describa con el menor número de variables posible. Hace falta un análisis para determinar si la información truncada representa ruido o no, pero la pregunta se deja abierta para futuros trabajos y se enfoca más en la propuesta de metodología.

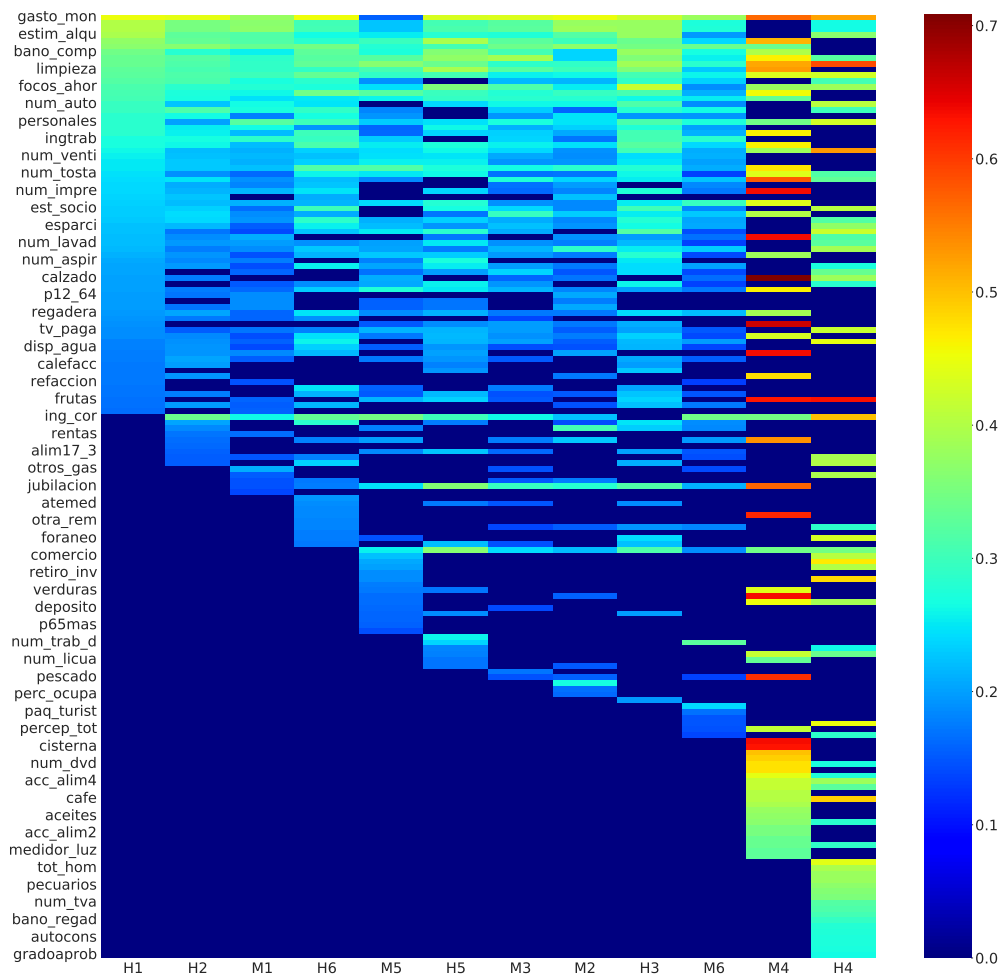


Figura 2-11: Matriz de covarianza cortada después de determinar el nivel de representatividad máxima para el año 2016. Se puede ver la pérdida de información de algunas variables pero que el procedimiento resalta las diferencias en las variables para cada clasificación del hogar. Esta misma matriz se convierte en la matriz de adyacencia A_{ij} del modelo de red.

Esta matriz cortada de covarianzas es el nexo que permite unir los datos y representarlos como una red compleja que describa el comportamiento del sistema. En la siguiente sección se describe el procedimiento que se realizó para realizar el modelo de red y las particularidades que resultan en dicho modelo.

2.6. Red de consumo de energía y género

El objetivo de representar el sistema con un modelo de red es capturar las interacciones que tienen las clasificaciones de género entre ellas mismas. Los comportamientos característicos de cada clasificación de hogares se puede representar en un modelo de red. Se espera entonces poder obtener información valiosa de cómo es que un hogar consume energía considerando a las personas que lo integran, de forma que se pueda entender mejor el consumo de energía y promover acciones que estén orientadas a una igualdad de género.

El modelo de red propuesto tiene características específicas:

- **Red bipartita:** La red que se forma en una red bipartita debido a que existen dos tipos de nodos; 1) las clasificaciones de hogares y 2) las variables del consumo de energía. Estos tipos de nodos son cualitativamente diferentes y no se conectan entre ellos, es decir, no existen conexiones clasificación de hogar-clasificación de hogar ni tampoco variable ENIGH-variable ENIGH. Por ello, la red que se forma es una red bipartita.
- **Red ponderada:** La matriz de covarianzas es la matriz de adyacencia A_{ij} del modelo de red. Es decir que existe una conexión entre clasificación de hogar y variable de la ENIGH si el valor de covarianza es diferente de cero. Se toma el valor de la covarianza como el peso w_{ij} de la conexión entre los dos tipos de nodos, de esta forma las variables que representan más el consumo de energía de una clasificación de hogar van a tener una conexión más fuerte. Esto convierte a la red en una red ponderada.

Un método común en el análisis de redes es la detección de comunidades. El objetivo de la detección de comunidades es agrupar en un mismo sub-grafo a los nodos que debido a sus conexiones tienen la tendencia a formar un mismo grupo. Es un método de aprendizaje de máquina no supervisado que tiene una capacidad demostrada de capturar comportamientos similares de los nodos en una red. El significado de las comunidades en este trabajo representa las clasificaciones de hogares que tienen un patrón de consumo energético similar en conjunto con las variables que describen dichos patrones de consumo.

La figura 2-12 es un esquema del procedimiento para el modelo y análisis de las redes de consumo energía y género. Se toma la matriz de covarianza como la matriz de adyacencia A_{ij} de la red, donde el valor de covarianza representa la ponderación w_{ij} . Las clasificaciones de hogares representan un modo de los nodos U , mientras que las variables un modo de nodos V . Con eso se construye una red bipartita ponderada que conecta la clasificación de hogares con las variables que caracterizan su consumo de energía. Finalmente se aplica un algoritmo de detección de comunidades para agrupar los comportamientos de consumo energético similares.

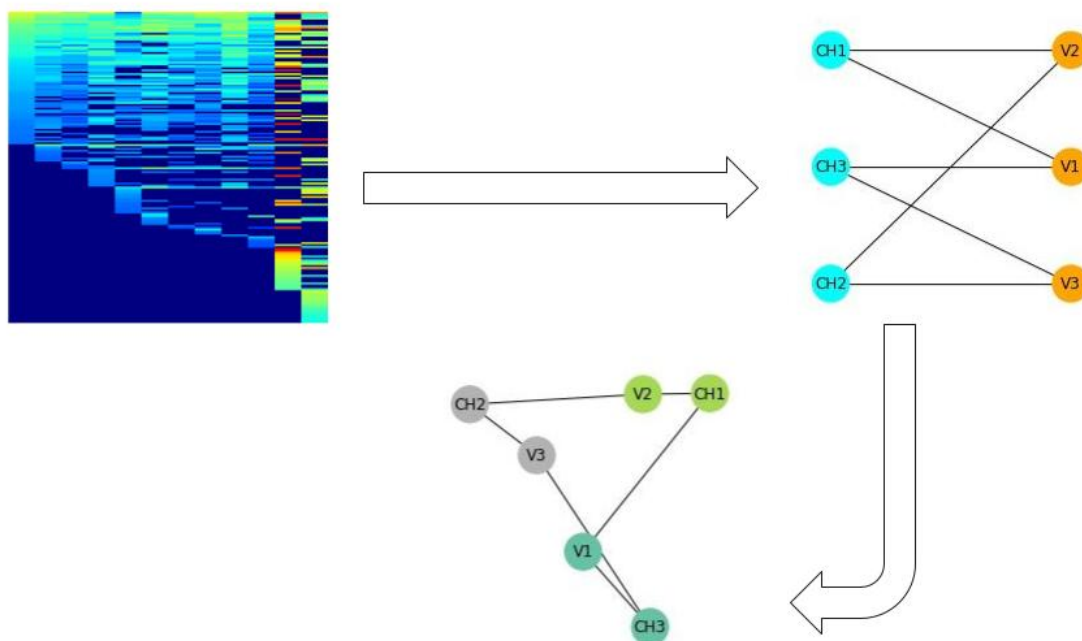


Figura 2-12: Esquema de la construcción de las redes de consumo de energía y género.

Se agruparon las variables de la ENIGH en las siguientes categorías con el fin de simplificar el análisis cualitativo:

- **Alimentación:** Toda aquella variable que tenga información sobre los hábitos de consumo de alimentos o la deficiencia en el consumo de éstos.
- **Vivienda:** Todas las variables relacionadas a la infraestructura y los servicios con los que cuenta la vivienda.
- **Perfil:** Información que describe las condiciones socio-demográficas de las personas que habitan los hogares.
- **Ingreso:** Todas las variables que se relacionan a un ingreso económico en el hogar y que detallan su fuente.
- **Gasto:** Todas las variables que se relacionan a un gasto económico en el hogar y que detallan su propósito.
- **Electrodomésticos:** Todas las variables relacionadas a el uso y el número de electrodomésticos en los hogares.

La motivación de esta clasificación surge como recomendación después de consultar con científicas sociales expertas en el tema de energía y género en México durante un taller

donde se presentaron las primeras versiones de las redes de consumo de energía y género. Específicamente de la Mtra. Sandra Caballero y de la Dra. Ana Gabriela Rincón Rubio. Esta clasificación permite que la descripción de los hogares y de los hábitos de las personas que integran el hogar sea más sencilla y proporciona una narrativa entendible de las variables que surgen del análisis numérico para pasar a un análisis cualitativo 3.5. Es decir, es un nexo entre el análisis cuantitativo del análisis de los datos con el análisis cualitativo.

En el siguiente capítulo se describirán los resultados que se encontraron usando la metodología propuesta. Se describirán las propiedades globales y locales del sistema de energía y el género. Además, se hace un análisis espacial sobre la ubicación de la clasificación de los hogares y se describirá a detalle la evolución temporal del sistema en diferentes escalas. Finalmente se describirá un ejemplo del análisis cualitativo que es posible realizar con el marco de trabajo para las ciencias sociales.

Capítulo 3

Resultados

En este capítulo se describen los resultados encontrados en este trabajo. A continuación se muestra brevemente la estructura del capítulo:

- Descripción de la información poblacional y de la clasificación de género descrita.
- Análisis de los parámetros de red del sistema de género-consumo de energía.
- Se hace un análisis espacial sobre cómo están distribuidos los diferentes tipos de hogares a lo largo del país.
- Análisis cualitativo de las relaciones entre el consumo de energía y el género que surgen del modelo de red.

3.1. Descripción de las clasificaciones de género

México es un país cuya población es predominantemente adulta. En la figura **3-1** se muestra la pirámide de la población del censo 2020 de población y vivienda del INEGI [47]. En ella se puede observar que la pirámide apunta a una población adulta. El segmento de la población con menor representación en el país son las personas mayores. Las personas menores de edad tienen una representación mayor a las de los mayores pero menor a la de las personas adultas. Una hipótesis de este trabajo es que el rango de edad de las personas puede ser un

factor importante en sus hábitos de consumo de energía, debido al tipo de actividades que desarrollan.

En cuestión de sexo la pirámide de la población no muestra una diferencias más que una mayor tendencia de mujeres en edades avanzadas. Esto puede estar derivado de una mayor expectativa de vida por parte de este sexo. Con una población de estas características, y asumiendo una equidad de género, se podría esperar que las posiciones de poder o de toma de decisiones estuvieran distribuidas de manera equitativa por cada sexo. Otra hipótesis de este estudio es que existen diferencias en el consumo de energía que provenga del sexo de las personas que son referentes del hogar y que se entiende como la persona que toma la mayoría de las decisiones en el hogar.

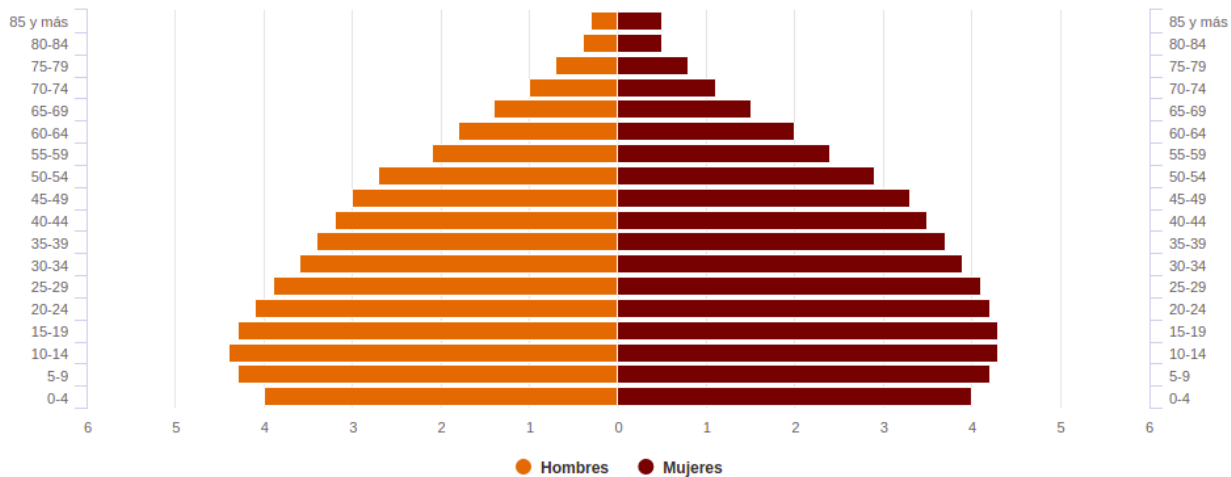


Figura 3-1: Pirámide poblacional del censo 2020 de población y vivienda del INEGI

La figura 3-2 muestra los porcentajes de las personas que entran en cada una de las clasificaciones de los hogares para los tres años de análisis. Casi la mitad de los hogares se encuentran habitados por personas adultas y menores. Los hogares con adultos es la segunda clasificación con más personas con alrededor del 30% de todos los hogares, seguido por los hogares con adultos y mayores y adultos con mayores y menores entre el 10% y 7%. Finalmente, las dos clasificaciones con menor cantidad de personas son los hogares con mayores y los integrados con mayores y menores. Este comportamiento está en sintonía con la pirámide poblacional de la figura 3-1, es decir, con una población predominantemente adulta y con menores.

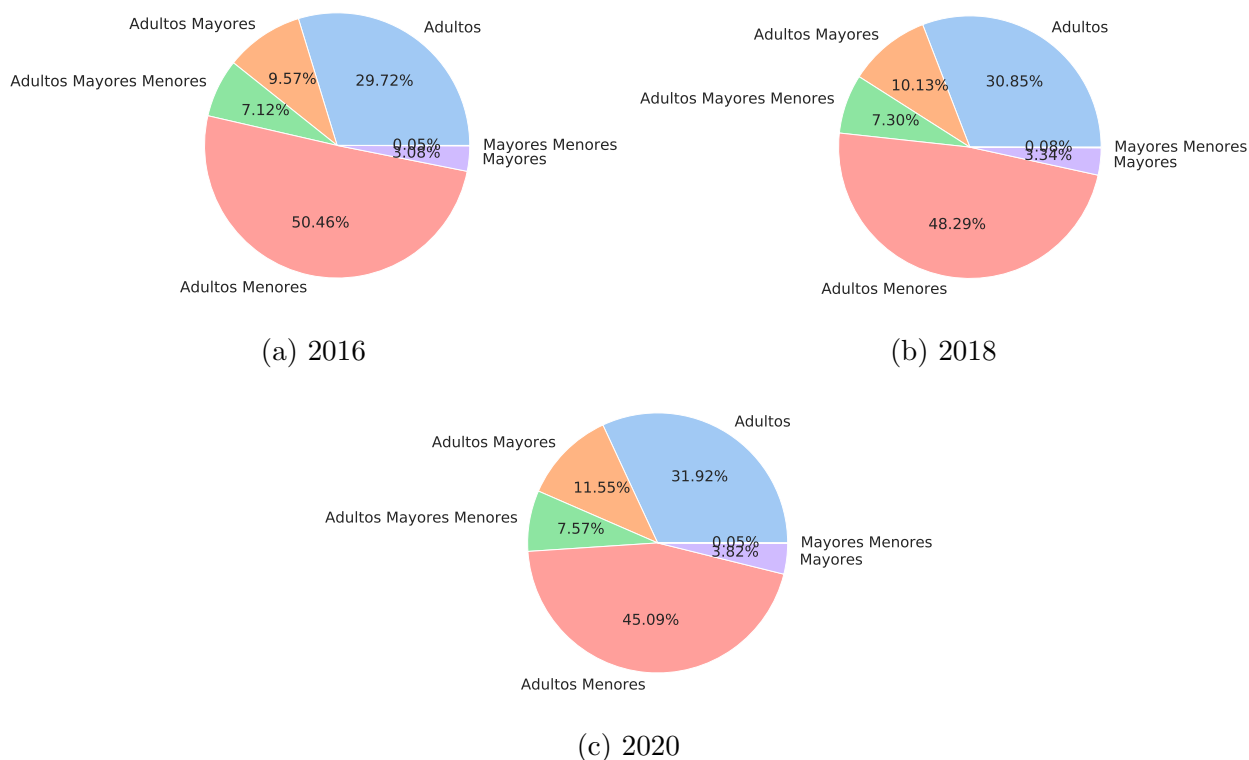
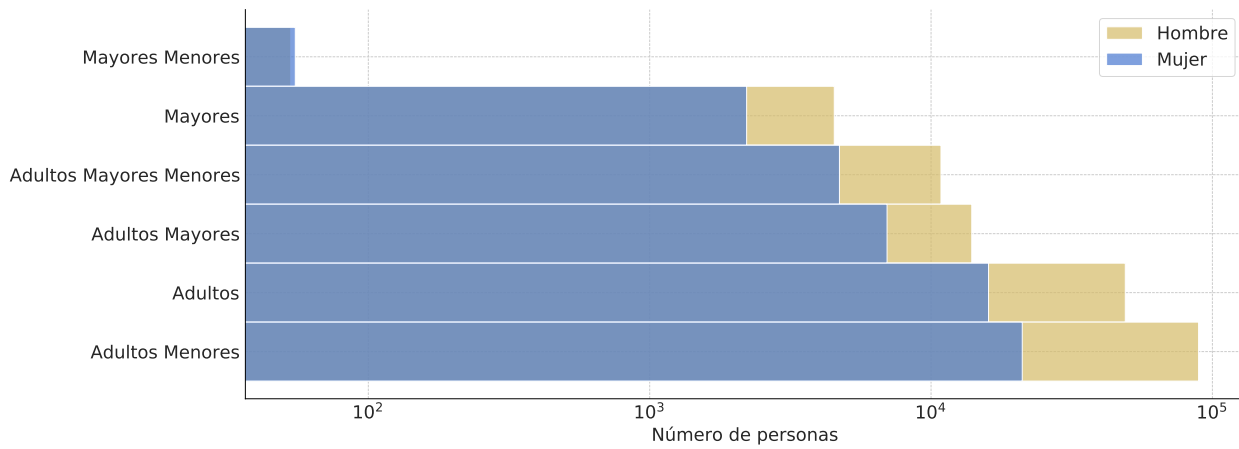


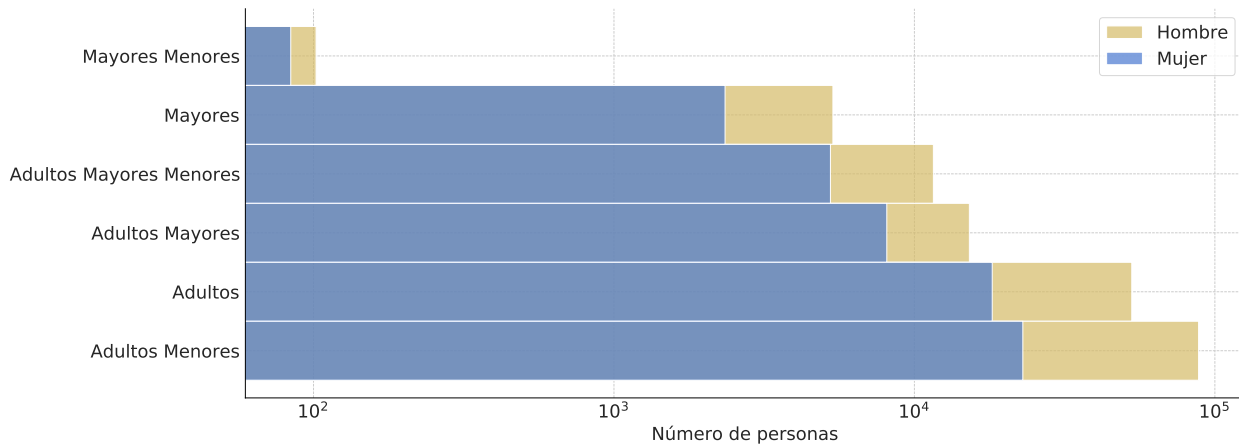
Figura 3-2: Distribución de los hogares de acuerdo a su clasificación para el año 2016, 2018 y 2020.

La figura 3-3 es el número de personas que entran en cada clasificación del hogar propuesta. Entre los años analizados (2016, 2018 y 2020) el comportamiento del número de personas que entran en cada categoría del hogar es muy similar y en general el comportamiento que siguen para todas las categorías durante los tres años. Esto indica que no hubo una dinámica muy diferente en la pirámide de edad de la población en los tres años de análisis.

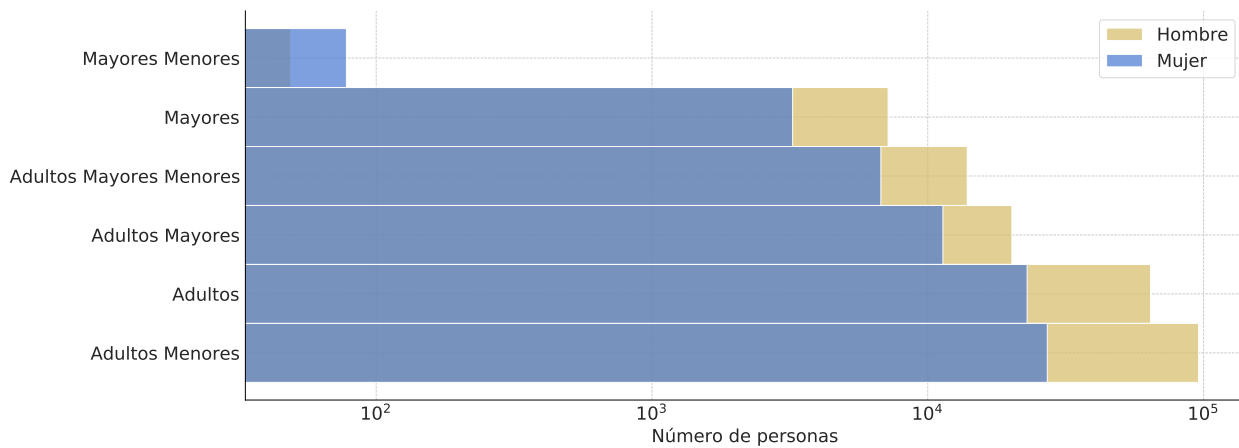
De acuerdo con la información de la ENIGH las categorías que predominan son las M2 y H2 que se refieren a grupos de edad de *adultos con menores*, seguida de M1 y H1 que se refiere a los *adultos*. Esto quiere decir que de acuerdo a la ENIGH la mayoría de la población está compuesta por personas adultas (personas entre 12 y 64 años) y menores (menores de 12 años). Comparando esta información con la figura 3-1, indica que en términos de edades la encuesta de la ENIGH representa de manera general la pirámide de población de México.



(a) 2016



(b) 2018



(c) 2020

Figura 3-3: Distribución de los hogares de acuerdo a su clasificación y por sexo de la persona referente del hogar de acuerdo a la clasificación de la tabla 2-2. En número de personas se muestra en escala logarítmica.

En cuestión del sexo de la persona representante del hogar existen diferencias de género. Hay una tendencia a responder que un hombre es el representante del hogar. Esta respuesta puede estar ligada a la imagen social que se tiene de un hombre como jefe del hogar y que se asocia a una masculinidad hegemónica que domina sobre los demás integrantes, por lo que siempre se debe asociar como “el jefe del hogar”. O la percepción de un hombre jefe de familia proveedor de los recursos económicos y, por ende, tomador de decisiones referentes al hogar. También puede estar ligada a las respuestas formales que hacen las personas para que se identifique a un hombre como jefe del hogar, aún y cuando las decisiones se hagan en realidad por una persona de otro sexo. La razón exacta está más allá del alcance de este trabajo debido a que no se puede derivar con el análisis realizado hasta este momento.

La única categoría en la que las mujeres como representantes del hogar predominan, son los hogares M4, integrados por personas *mayores y menores* (con excepción del año 2018). Esto quiere decir que son hogares donde una persona mayor, posiblemente mujer y representante del hogar, queda a cargo de menores de edad. Este hecho puede representar un rol de cuidados que no se le asigna a los hombres. La existencia de este tipo de hogares es en ordenes de magnitud menor al del grueso de la población, sin embargo en este estudio se busca representar a estas minorías y su interacción en todo el sistema. El hecho de que sean minorías no quiere decir que no existen y la comprensión de sus particularidades también debería ser buscada en orden de fomentar una equidad de condiciones, tanto en el estilo de vida y en su consumo de energía.

Los hogares con clasificación del hogar M6 y H6 con *adultos con mayores y menores*, que son hogares donde existen personas de todos los rangos de edad y los hogares M5 y H5 con *mayores* que son hogares donde únicamente viven personas mayores de edad tiene una menor representación comparada con los M1 y H1 que tienen *adultos*.

3.1.1. Análisis geográfico de los tipos de hogares

Las figuras **3-4,3-9** indican las ubicaciones de cada uno de los hogares usados en la clasificación de género de la ENIGH-2020. Los colores muestran el sexo de la persona referente del hogar para cada tipo de hogares (azul para hombres y café para mujeres). El tamaño de los puntos representa el consumo de energía de los hogares. La ubicación de los puntos describen al municipio donde está ubicado el hogar de los encuestados. El tamaño y color es diferente en un mismo municipio debido a que hay distintos hogares. Se demuestra la representatividad nacional de la encuesta ENIGH al observar una distribución de hogares a lo largo del país.

La densidad de los puntos en los mapas es equivalente a lo que se muestra en la figura **3-3**. En este caso se muestra la diferencia que existe para los hogares M4 y H4 con personas *mayores y menores* que se mencionó anteriormente. Con respecto al consumo de energía, los

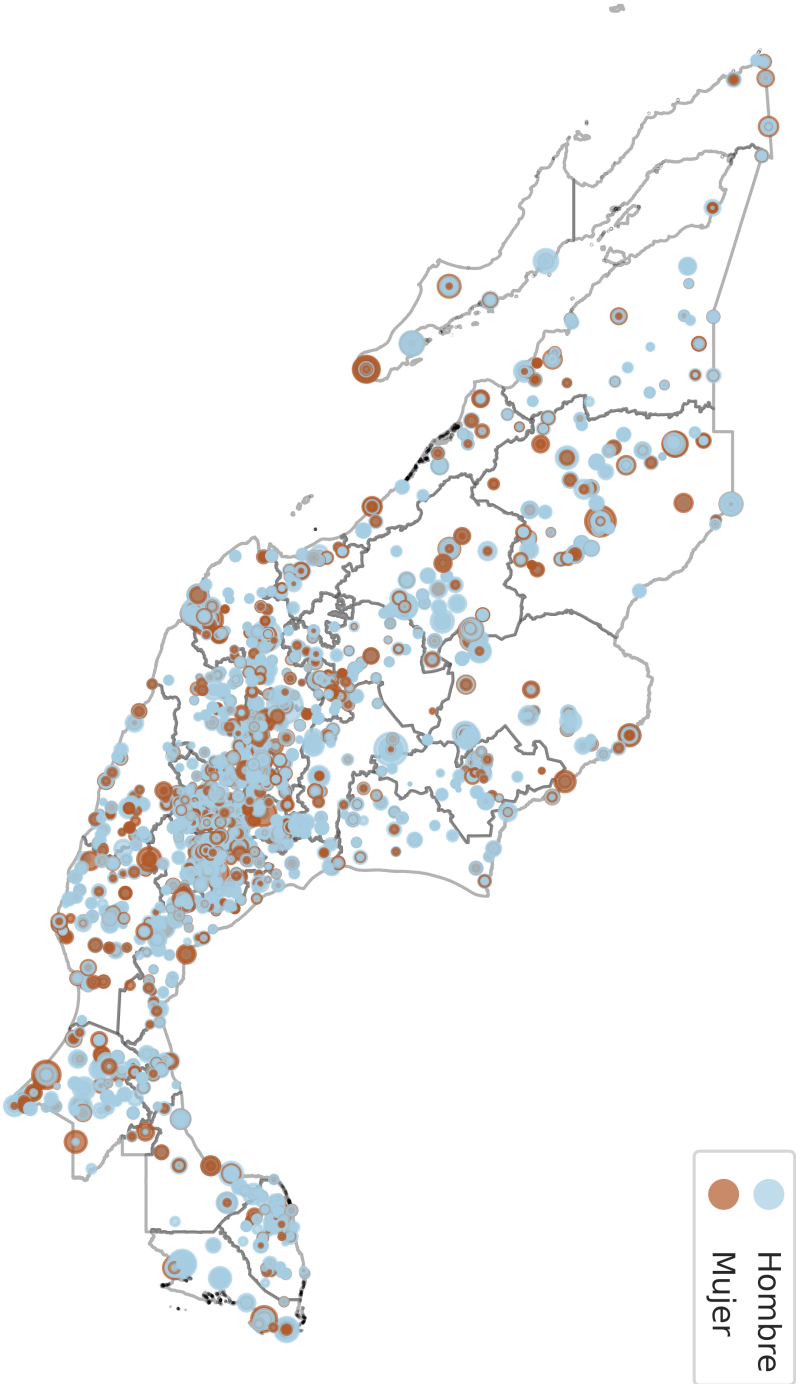


Figura 3-4: Ubicación de los hogares M1 y H1 con adultos para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético

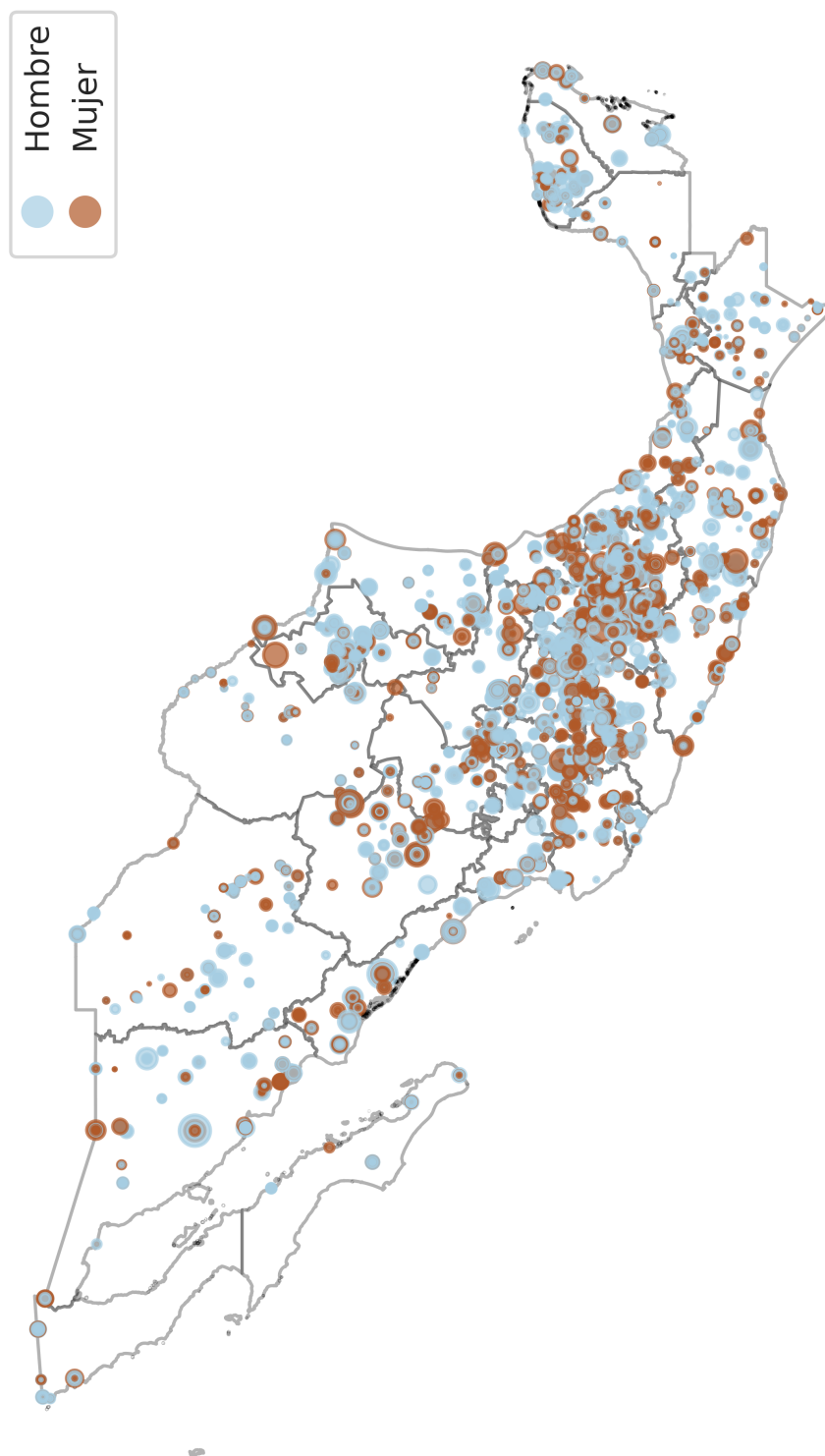


Figura 3-5: Ubicación de los hogares M3 y H3 con adultos y mayores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético

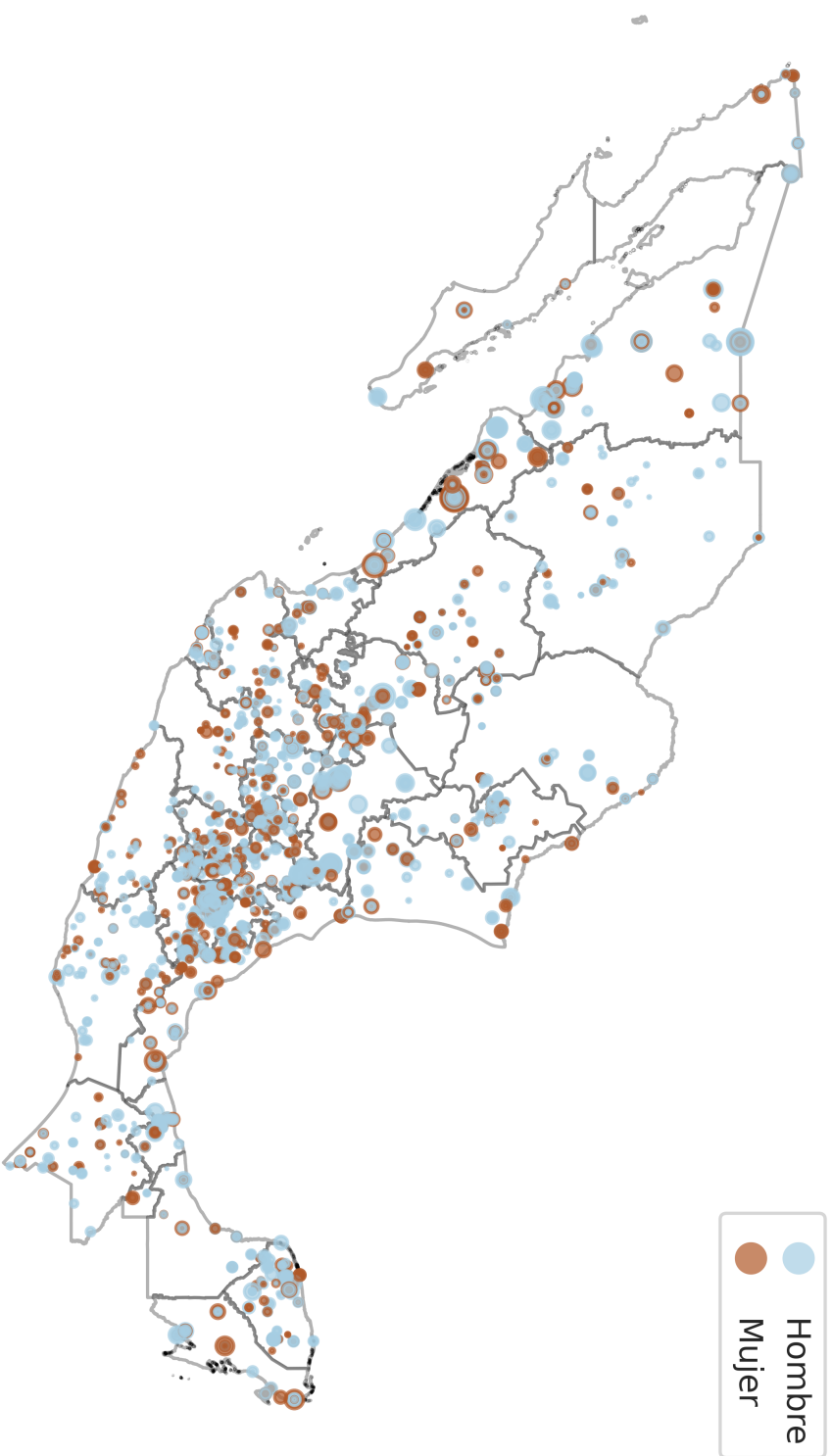


Figura 3-6: Ubicación de los hogares M6 y H6 con adultos, mayores y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético

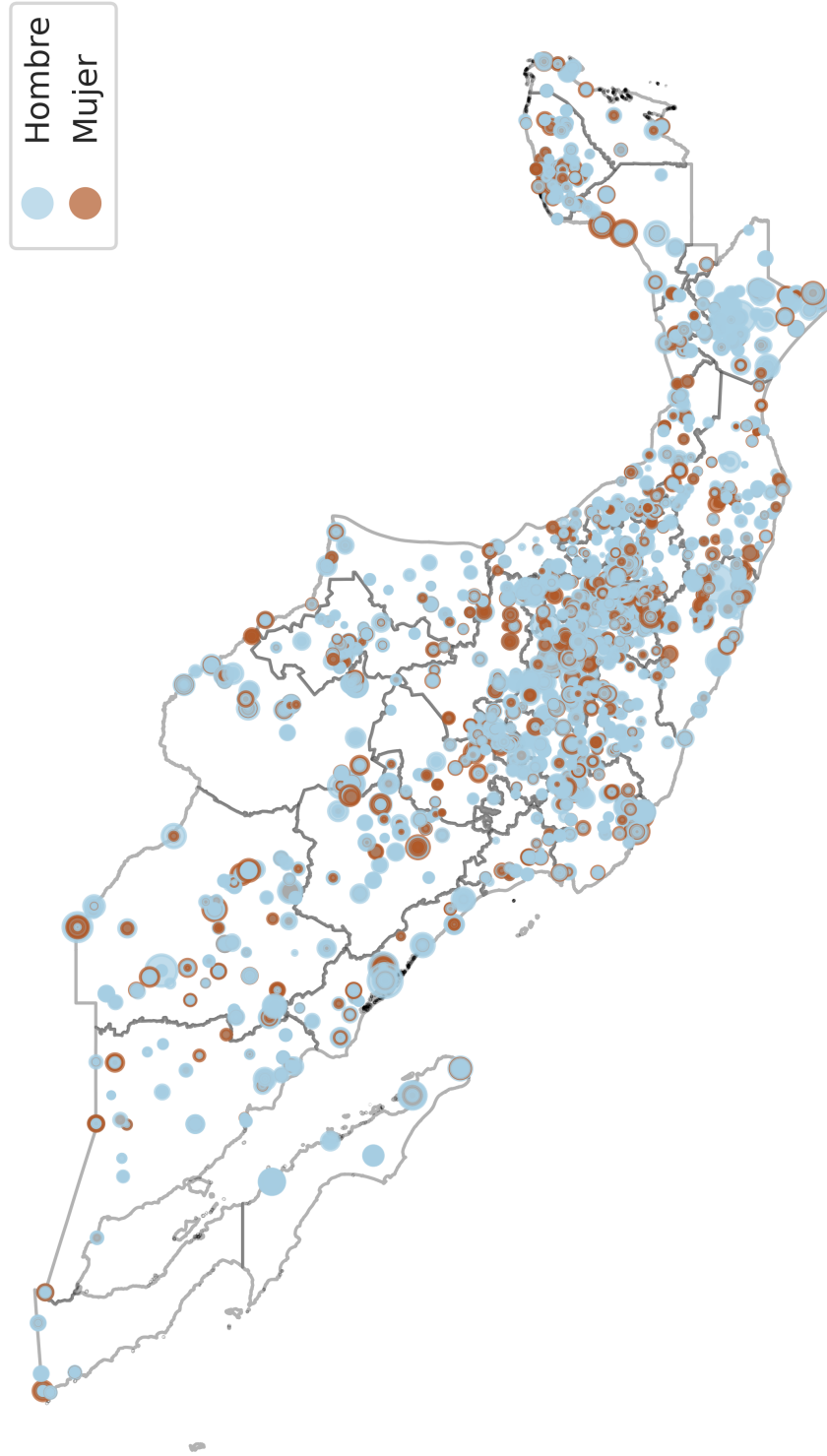
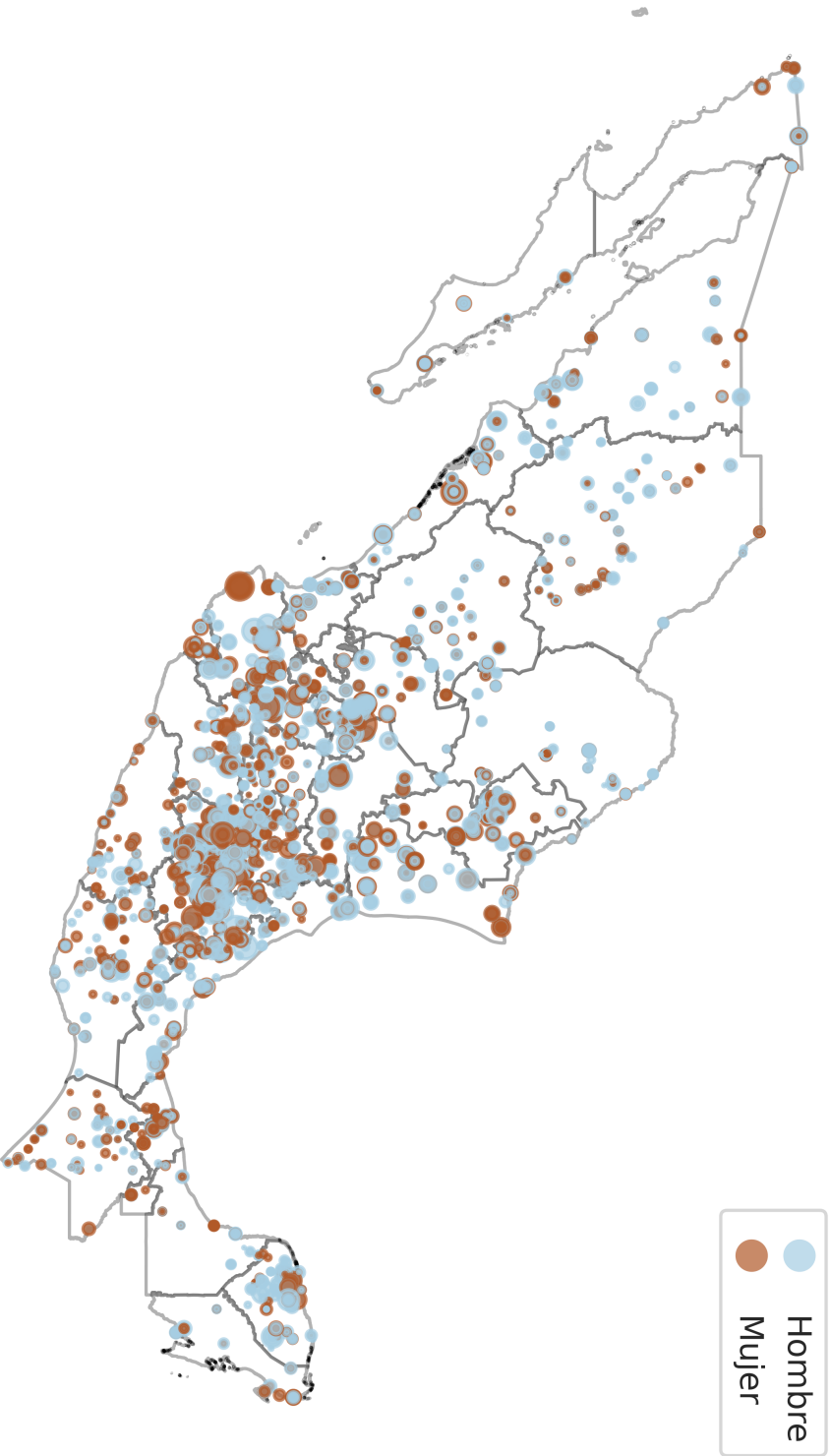


Figura 3-7: Ubicación de los hogares M2 y H2 con adultos y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético

Figura 3-8: Ubicación de los hogares M15 y H5 con mayores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético



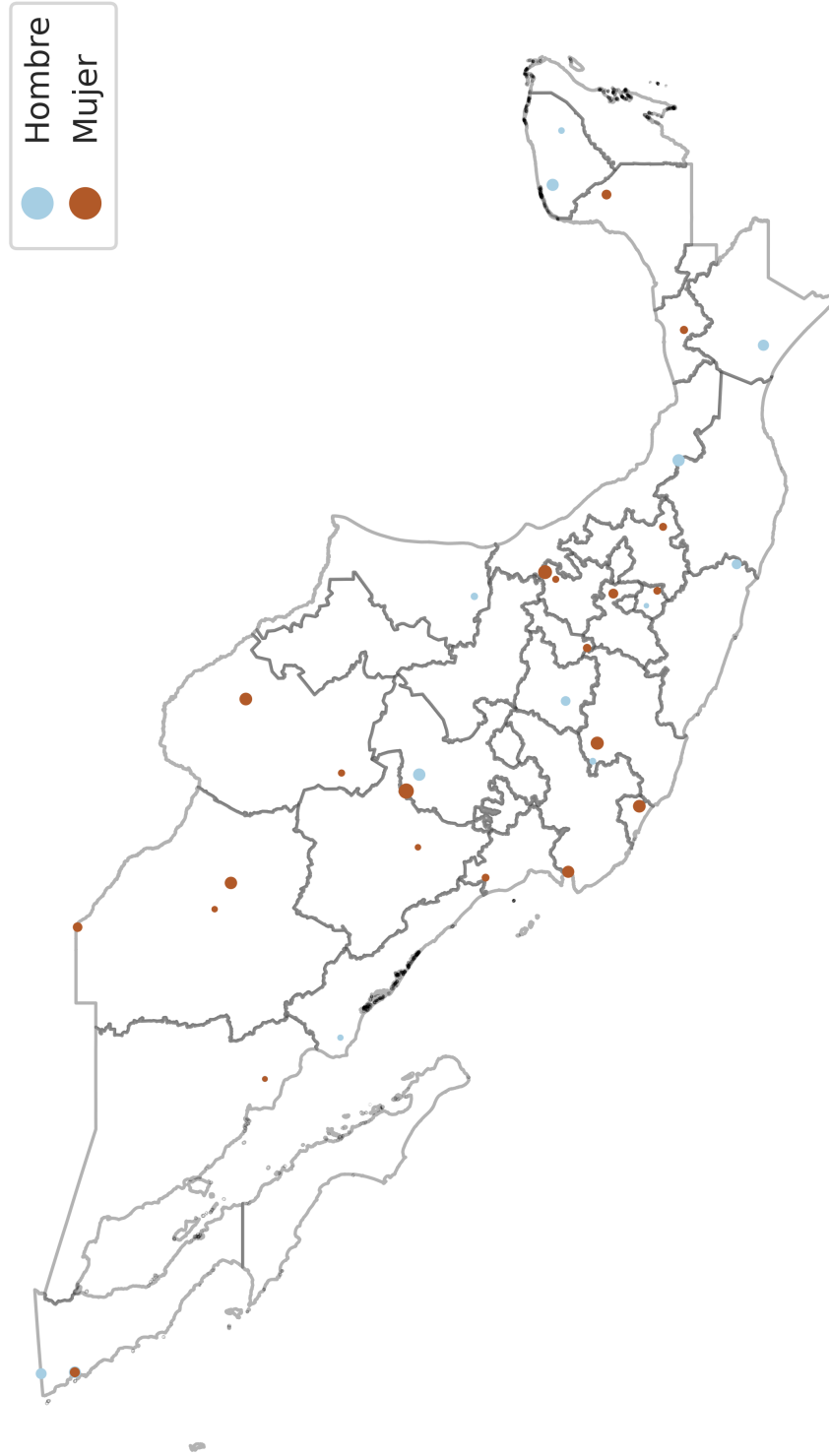


Figura 3-9: Ubicación de los hogares M4 y H4 con adultos y menores para la ENIGH-2020. El color representa el sexo de la persona referente del hogar y el tamaño describe su consumo energético

hogares M6 y H6 con *adultos, mayores y menores* tienen un menor consumo que el resto de los hogares (con excepción de los hogares M5 y H5 con *mayores y menores*).

Algo que es interesante analizar de estos mapas es las diferencias en el consumo de energía por tipo de hogares y por sexo de la persona referente del hogar en las entidades federativas. Por ejemplo, en Chiapas el tipo de hogar con *adultos y menores* (M2 y H2) tiene un mayor consumo de energía comparado con otros tipos de hogares y predominan los hombres como personas referentes del hogar.

Con estos mapas de consumo de energía por tipo de hogar y por sexo de las personas referentes del hogar se pueden hacer análisis más detallados que describan características socio-espaciales [28]. Sin embargo, para fines de este trabajo se dejará hasta este detalle y se enfocará en el modelo de red.

Con la clasificación de género propuesta y el modelo de red de este trabajo se busca dar respuestas a las preguntas:

1. ¿Qué influencia tiene el sexo de las personas referentes del hogar en las decisiones del consumo de energía?
2. ¿Qué influencia tiene el rango de edad de las personas que integran los hogares?
3. ¿Existen diferencias cuantitativas y cualitativas del comportamiento consumo de energético derivadas por el sexo de la persona referente del hogar y los rangos de edad de los integrantes?
4. ¿Qué nos pueden decir las variables más relacionadas con el consumo de energía sobre los hábitos de los tipos de hogares y viceversa?
5. ¿Han cambiado en el tiempo la interacción que tienen los hogares con su consumo de energía de acuerdo a la clasificación de género propuesta?

En las siguientes secciones se describirán los resultados del modelo para describir sus características como un sistema complejo. Es decir, de manera global y local, cómo es que están interaccionando los tipos de hogares y las variables que describen su consumo energético. Después se describirá de manera cualitativa algunos resultados derivados del modelo de red y que tienen la intención de identificar las particularidades de cada clasificación del hogar en cuanto a su consumo de energía.

3.2. Propiedades globales de las redes de consumo de energía y género

En esta sección se mostrarán los modelos de red que de cada año y sus propiedades globales de la red. La figura 3-10 representa las redes de consumo de energía y género para los años analizados. Los nodos azules representan las clasificaciones de hogares, los nodos naranjas son las variables de la ENIGH y la conexión representa que la variable de la ENIGH está dentro del corte $\overline{\text{Rep}}_m$ de representatividad del consumo de energía de cada tipo de hogar para cada año. Las redes están ponderada por el valor de covarianza de la variable en el consumo de energía. Por cuestiones de visualización se retiraron las etiquetas para que pudiera observar la estructura de las redes.

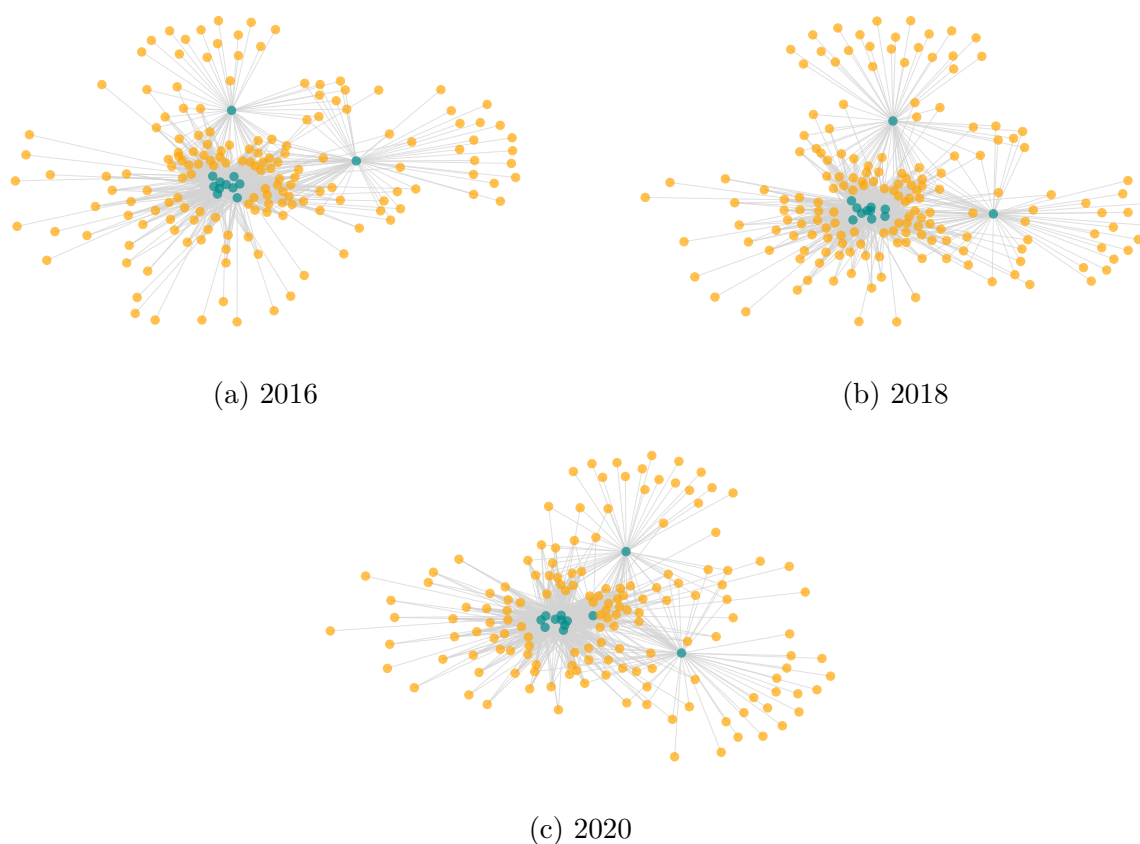


Figura 3-10: Redes de consumo de energía y género para los años (a) 2016, (b) 2018 y (c) 2020. Los nodos azules representan las clasificaciones de hogares y los nodos naranjas son las variables de la ENIGH.

La visualización de las redes lleva integrado el algoritmo de Fruchterman-Reingold [48] que aglomera aquellos nodos que tienen cierta cercanía entre ellos, aunque no necesariamente

estén conectados. De esta forma, la distancia euclidiana a la que están los nodos sí tiene alguna representación de su interacción con el resto de los nodos y con el sistema. Se observa entonces cómo es que las clasificaciones de hogares y variables que describen el consumo de energía interactúan entre sí.

La mayoría de las clasificaciones del hogar se mantienen muy unidas entre ellas y dos de ellas logran separarse del resto, indicando que su interacción con los otros tipos de hogares es menor. Esto indica diferencias en el consumo de energía de estas clasificaciones de hogares. Por otro lado, las variables tienen diferentes comportamientos. Algunas variables se encuentran en una sección de las redes donde interactúan con casi todas las clasificaciones de hogares (región media de las redes) y algunas interactúan únicamente con una clasificación de hogar (las que se encuentran de forma radial en las figuras). Con respecto a los cambios temporales, de manera visual no se aprecian diferencias significativas en las redes, pero es necesario un análisis más profundo para determinar si existió una evolución en el sistema.

El cuadro **3-1** muestra las propiedades globales de las redes de consumo de energía y género. En términos globales se corrobora que las redes no cambian mucho sus parámetros de un año a otro. Esto indica que: 1) la recopilación de los datos parece ser consistente en la base de datos, 2) la metodología del modelado también parece ser consistente y 3) el comportamiento dinámico de la red parece ser bajo y por ello resultan en redes muy similares. Es interesante analizar si la baja dinámica del sistema es derivada por: a) a que el sistema tuvo pocos cambios o b) debido a que la metodología propuesta en este trabajo no tiene la sensibilidad suficiente para detectar estos cambios. Una discusión sobre este asunto se realiza en secciones posteriores.

	N (N_1, N_2)	E	δ	$\langle k \rangle$	$\langle k_1 \rangle$	$\langle k_2 \rangle$	$\langle s \rangle$	$\langle C_B(n) \rangle$	$\langle C_B(e) \rangle$	$\langle C \rangle$	r
2016	175 (12,163)	836	0.427	9.554	69.667	5.129	2.48	0.009	0.003	0.361	-0.875
2018	183 (12,171)	885	0.431	9.672	73.75	5.175	2.672	0.009	0.003	0.384	-0.951
2020	164 (12,152)	809	0.444	9.866	67.417	5.322	2.62	0.01	0.003	0.387	-0.747

Cuadro **3-1**: Propiedades globales de las redes de consumo de energía y género para los años analizados. En la tabla se muestra el número de nodos N , junto con el número de nodos de cada tipo (N_1 y N_2), el número de links E , la densidad δ de la red, el grado promedio $\langle k \rangle$ de todos los nodos, el grado promedio de los nodos tipos de hogares $\langle k_{N_1} \rangle$, el grado promedio de los nodos tipo variables de la ENIGH $\langle k_{N_2} \rangle$, la fuerza promedio $\langle s \rangle$, la centralidad por intermediación promedio de los nodos $\langle C_B(n) \rangle$ y de los links $\langle C_B(e) \rangle$, el coeficiente de clustering promedio C y la asortatividad r

El tamaño de las redes es pequeño si se consideran otros modelos de red existentes en la literatura. Sin embargo para analizar las relaciones del consumo de energía y el género de forma cualitativa el número de variables es considerable. En promedio entre 9 y 10 nodos independientemente del tipo de nodo y tienen una fuerza de aproximadamente 2.5. Sobre-

simplificando el modelo se puede decir que el consumo de energía de los tipos de hogares se describe entre 67 y 73 variables. Mientras que las variables están unidas en promedio a 5 clasificaciones de hogares, es decir, poco menos de la mitad de los tipos de hogares. Estas descripciones son las que se obtienen si se considera una complejidad organizada.

Uno de los parámetros globales más interesantes a analizar es la asortatividad, que se refiere a la tendencia de los nodos a conectarse con grado similar. Todas las redes muestran un comportamiento altamente disortativo, lo que quiere decir que nodos de alto grado tienden a conectarse con nodos de bajo grado. Esto se puede observar visualmente en la figura **3-10** y se debe a que el número de nodos de tipo clasificación del hogar (N_1) es mucho menor con respecto al tipo de nodos variables de la ENIGH (N_2). Además, las clasificaciones de hogares tienden a estar conectadas a un alto número de variables que describan su consumo energético. De esta forma, el comportamiento disortativo es esperado en este modelo de red, ya que las clasificaciones de hogares (nodos de alto grado) van a estar conectados siempre a las variables de la ENIGH (nodos de bajo grado). Este parámetro es un poco más sensible a los cambios de las redes a lo largo del tiempo pero no de manera significativa.

En la siguiente sección se detalla más en las propiedades locales de la red, de forma que se puedan describir dinámicas entre los diferentes nodos y su repercusión en el comportamiento global de las redes.

3.3. Propiedades locales de las redes de consumo de energía y género

La figura **3-11** muestra el coeficiente de clustering y la fuerza de cada nodo. En el eje x están los datos de cada nodo ordenados de menor a mayor por su coeficiente de clustering (por año) y en el eje y se muestra la fuerza de los nodos para todos los años analizados. La fuerza es un parámetro de las redes que describe el nivel de conectividad de la red y su influencia en el paso de información, mientras que el coeficiente de clustering mide la densidad local de las conexiones de cada nodo. Las redes no muestran una dinámica anual de los nodos, que confirma lo observado en el comportamiento global.

Otra observación es que existen diferencias fundamentales en los tipos de nodos. Los nodos de clasificación de hogares tienen valores más altos de fuerza en la red, lo que indica una mayor interacción en el flujo de información de todo el sistema. Los nodos variables de la ENIGH tiene un comportamiento más diverso en el coeficiente de clustering pero menores valores de fuerza. De hecho, ningún nodo variable de la ENIGH tiene valores de fuerza $s > 10^1$. Los valores de fuerza no tienen unidades debido a que la ponderación de las redes, es decir el valor de covarianza, tampoco tiene unidades físicas.

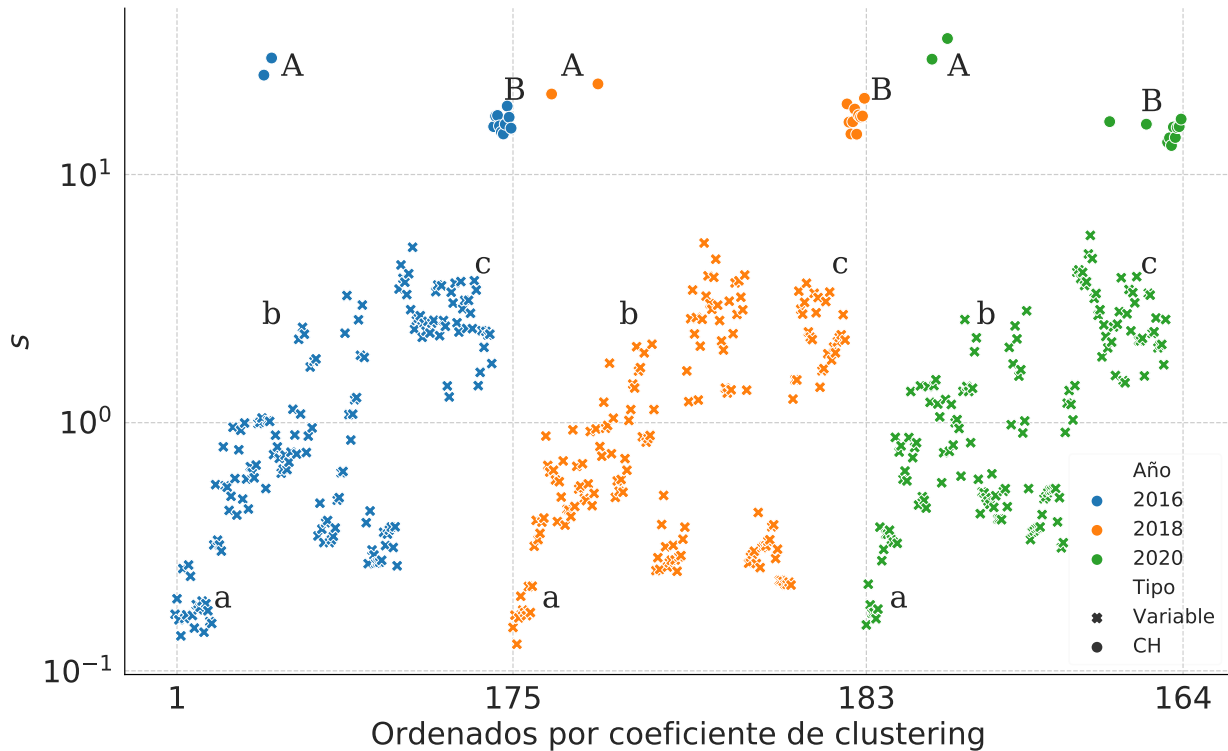


Figura 3-11: Fuerza de los nodos ordenados por su coeficiente de clustering para las redes de consumo de energía y género de los años 2016, 2018 y 2020.

Se observan dos grupos entre los nodos clasificación de hogares: *A*) dos clasificaciones de hogares que tienen los valores de fuerza más altos y de coeficiente de clustering más bajo con respecto a las otras clasificaciones de hogares y *B*) el resto de clasificación de hogares que prácticamente comparten las mismas propiedades. Estos dos nodos de *A*) son relevantes porque le dan una estructura característica a las redes de consumo de energía y género al alejarse del componente gigante de la red y además, cualitativamente son interesantes porque representan a los grupos minorías M4 y H4.

En los nodos variables de la ENIGH existe un comportamiento más diverso para su descripción. La escala logarítmica en el valor de la fuerza indica que tienen diferentes escalas de comportamiento y conectividad. Derivado de la figura 3-11 se describen comportamientos como: *a*) variables con baja fuerza y bajo clustering -que son nodos con pocas conexiones o con baja representatividad en el consumo de energía y muy dispersos- lo que indica que los nodos que están en la estructura más exterior de la red y que solamente están conectados a una clasificación de hogares; *b*) variables con valores intermedios de fuerza y clustering y que entre ellas también existen diferentes comportamientos y *c*) variables con alta fuerza y alto clustering que representan a las variables ubicadas en el centro de las redes y que describen el consumo de energía de todas o casi todas las clasificaciones de hogares.

En la figura **3-12** se muestran las distribuciones de probabilidad de los nodos para el grado y la fuerza en cada uno de los años analizados. Se observa nuevamente un comportamiento dinámico bajo. La escala logarítmica de la figura indica que existe una diferencia de escala en la distribución de grado, que puede asociarse a un modelo de red libre de escala.

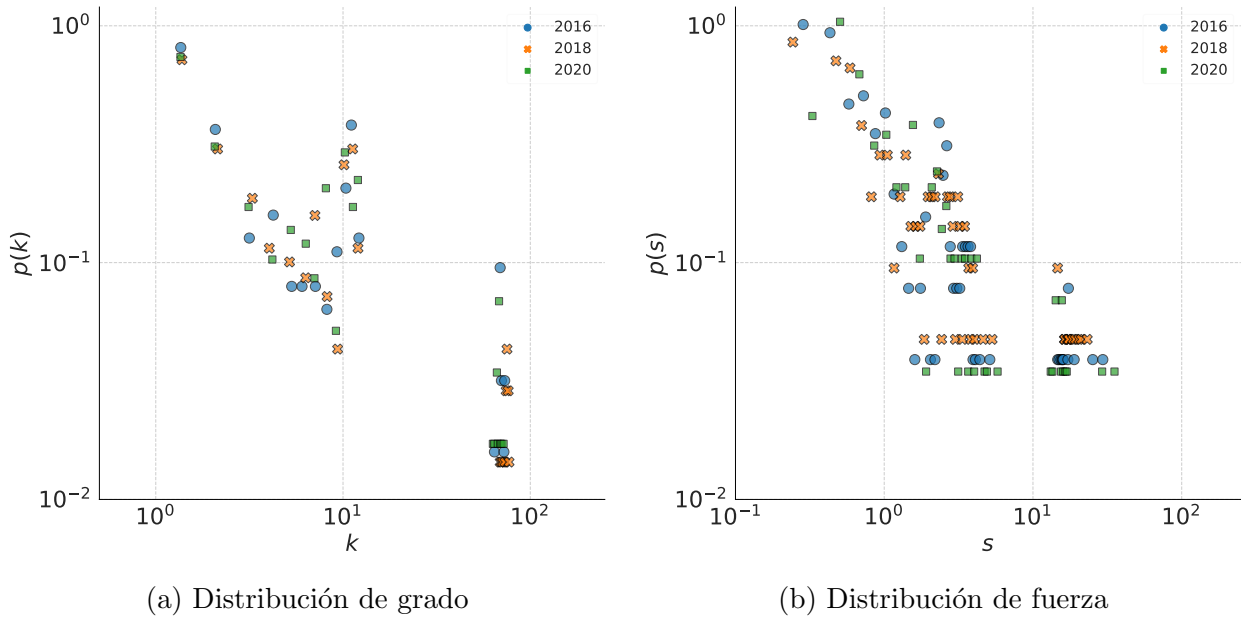


Figura **3-12**: Distribuciones de grado (a) y fuerza (b) de los nodos en una escala logarítmica para los años analizados. Se puede observar la presencia de hubs en el sistema. Esto puede indicar una similitud con el modelo de Barabási-Albert, con la diferencia en que la ley de potencia no sigue exactamente una línea recta, sino que tiene un incremento en la probabilidad.

En la red existe la presencia de hubs ubicados en los puntos en los extremos derechos inferiores de las gráficas. Los hubs son nodos que tienen alto grado y son centros de información de la red. Estos hubs se relacionan con las variables tipo clasificación de hogares y algunas variables de la ENIGH. Estas características indican un modelo de red de Barabási-Albert, que es un modelo libre de escala que permite la existencia de hubs.

Otra diferencia esencial que se observa en la distribución de grado es que la distribución de grado presenta un ligero incremento en su probabilidad cerca de $k \approx 10^1$ y que coincide estar cerca del número máximo de clasificación de hogares. Este incremento es particularmente interesante porque no corresponde al comportamiento esperado de ningún modelo de red. La existencia de estos nodos se puede traducir en un comportamiento de la red donde un número considerable de nodos incrementan su grado en una cierta sección. Este comportamiento puede relacionarse a variables de la ENIGH que tienen un alto grado y se conectan con la mayoría de las clasificaciones de hogares. Estas variables, debido a que están presentes en

la mayoría de las clasificaciones de hogares, son las que describen el consumo de energía del sistema de manera global.

En la distribución de la fuerza **3-12b**, este comportamiento parece atenuarse y seguir una distribución más lineal. Esto puede deberse a que el peso de los links reduce la influencia de estas conexiones. Es decir que si bien existen nodos que describen el consumo de energía de casi todas las clasificaciones de hogares, son nodos con bajos valores de covarianza. En es análisis cualitativo estos nodos son importantes porque describen el consumo de energía de todas las clasificaciones de hogares, aunque no puedan describir particularidades de cada grupo, logran mejorar el entendimiento del consumo de energía de todo el sistema.

3.3.1. Análisis temporal

En la figura **3-13** se muestra un esquema simplificado de la presencia de los nodos en cada uno de los años. El color de los nodos indica el número de años en el que están presentes en la red (1 año azul, 2 años naranja y 3 años verde).

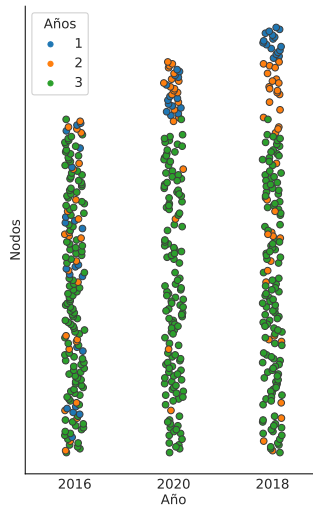


Figura **3-13**: Presencia de los nodos en cada uno de los años. El color de los nodos indica el número de años presentes. Se omite el detalle de los nodos para simplificar la visualización.

La mayoría de los nodos se mantienen durante los años del análisis (nodos verdes), mientras que otro pequeño porcentaje cambia entre algunos años (nodos naranjas) y finalmente otro pequeño conjunto de nodos es único para cada año en particular (nodos azules).

Cuando se analizan los cambios de un año t_1 a otro año t_2 y suponiendo que N_{t_1} es el conjunto de nodos en t_1 y N_{t_2} es el conjunto de nodos en t_2 , todos los nodos tienen las siguientes opciones:

1. **Nuevos nodos:** Son los nodos que están en el tiempo t_2 y no estaban en el tiempo t_1 . La fracción de nodos nuevos es:

$$C_n = \frac{N_{t_2} - N_{t_1}}{N_{t_1} \cup N_{t_2}}, \quad (3-1)$$

2. **Nodos que permanecen:** Son los nodos que están en el tiempo t_1 y permanecen en el tiempo t_2 . Su fracción se calcula:

$$C_p = \frac{N_{t_1} \cap N_{t_2}}{N_{t_1} \cup N_{t_2}}, \quad (3-2)$$

3. **Nodos desplazados:** Son los nodos que aparecen en el tiempo t_1 y ya no están en el tiempo t_2 . Su fracción es:

$$C_d = \frac{N_{t_1} - N_{t_2}}{N_{t_1} \cup N_{t_2}}, \quad (3-3)$$

Estas fracciones describen la dinámica que existe en los nodos. Asisten en la identificación de cambios dinámicos más detallados. En el cuadro **3-2** se muestran los coeficientes de intercambio de nodos de los años 2016 al 2018, del 2018 al 2020 y del 2016 al 2020. La mayoría de los nodos en la red tienden a permanecer y tanto la aparición de nuevos nodos así como el desplazamiento no son fenómenos muy comunes en estas redes.

Esto indica que las redes de consumo de energía y género sí cambian a lo largo del tiempo cuando se trata de nivel de nodos. Como se veía en una descripción más global parecía que las redes siempre aparecían los mismos nodos. Con estos coeficientes se puede observar que sí existen cambios en el tiempo pero en una proporción muy baja. En cuestiones del modelo propuesto en este trabajo se muestra que sí tiene sensibilidad a los cambios temporales, sin embargo el sistema parece permanecer relativamente estable durante el periodo de tiempo analizado.

Años	C_n	C_p	C_d
2016-2018	0.163	0.713	0.124
2018-2020	0.094	0.718	0.188
2016-2020	0.146	0.654	0.2

Cuadro **3-2:** Coeficientes de intercambio de nodos para los diferentes años analizados

Finalmente, para una descripción cualitativa de los nodos en la figura **3-14** se muestra un mapa de colores del número de variables de cada tipo en cada año del análisis. Se puede observar que las variables sufren pequeñas modificaciones en su descripción para cada año, pero en esencia tienen el mismo comportamiento.

Se observa también que las variables que predominan para la descripción del sistema de consumo de energía y género son las variables de gasto. Esto parece indicar que si se busca conocer mejor el consumo de energía en los hogares, conocer en qué gastan ayuda a describir cómo consumen energía. Sin embargo, este resultado podría estar sesgado debido a que la variable que describe el consumo de energía está en términos de gasto económico o la naturaleza económica de la encuesta y por consecuencia un mayor número de variables en términos de gasto.

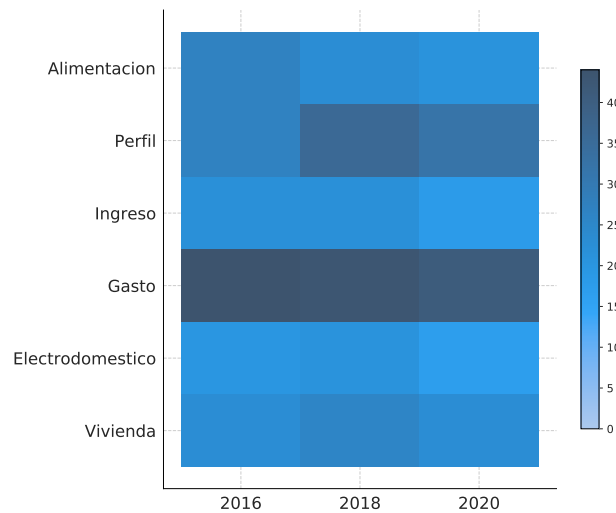


Figura 3-14: Número de variables incluidas en las redes de consumo de energía y género para cada año.

En la siguiente sección se describe la detección de comunidades en las redes de consumo de energía y género. La finalidad de la detección de comunidades es encontrar comportamientos similares en la red y reducir la escala del sistema para un análisis más detallado y que puede tener más significado a nivel cualitativo.

3.4. Detección de comunidades en las redes de consumo de energía y género

La detección de comunidades en redes complejas puede brindar información acerca de comportamientos en común al agrupar los nodos que están más relacionados. En el caso de las redes de consumo de energía y género, pueden dar información sobre comportamientos de consumo de energía similares de acuerdo a la clasificación de género. Si se analizan a detalle, pueden describir la manera en la que las personas interactúan con su hogar de acuerdo a la clasificación en la que se encuentren. En este trabajo se hará un análisis de comunidades

para las redes bipartitas de consumo de energía y género. Para la detección de comunidades se utilizó el algoritmo BRIM para usar en redes bipartitas [49,50]. Este algoritmo tiene como fundamento encontrar comunidades en redes bipartitas.

La mayoría de los algoritmos está diseñado para redes de un solo tipo de nodo (unipartitas) y para el caso de las redes bipartitas se hace detección de comunidades desde sus proyecciones. Esta metodología tiene limitantes debido a que existen redes en las que la red bipartita (o multipartitas) proporcionan información valiosa para su análisis. Algunos ejemplos son las redes biológicas [51,52], que resulta en la motivación para crear algoritmos de detección de comunidades directamente de redes bipartitas.

El algoritmo BRIM surge de esta motivación y es por ello que se considera adecuado para este análisis. Otros algoritmos pueden ser utilizados pero el algoritmo BRIM funcionará como un primer ejercicio de exploración. El algoritmo BRIM tiene como principio detectar comunidades con la máxima modularidad. La diferencia del algoritmo es que cambia la definición de modularidad a una ajustada para las redes bipartitas 3-4, donde A_{ij}^* es la parte superior de la matriz de adyacencia, m es el número de conexiones en la red, k_i es el grado del nodo i , d_j es el grado del nodo j y C_i y C_j son los índices de las comunidades i y j respectivamente.

$$Q = \frac{1}{m} \sum_{i,j} \left(A_{ij}^* - \frac{k_i d_j}{m} \right) \delta(C_i, C_j), \quad (3-4)$$

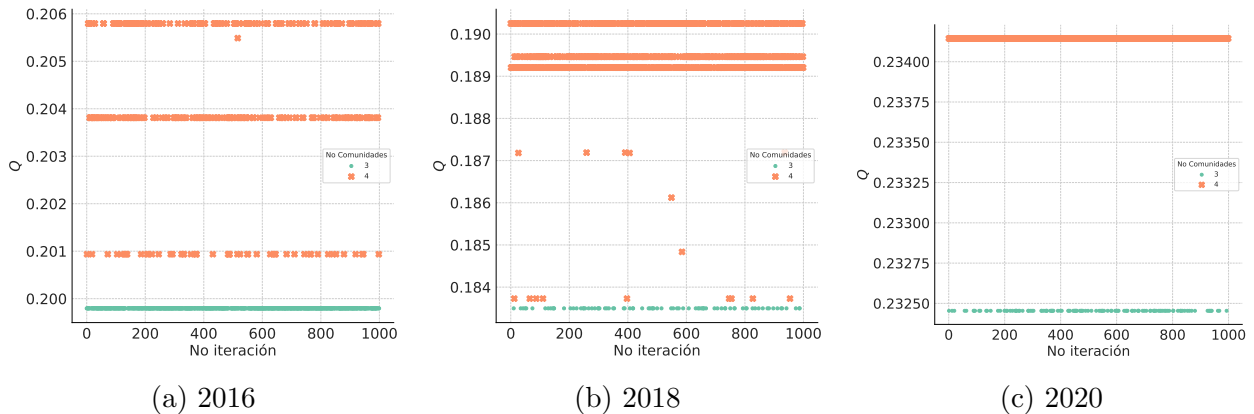


Figura 3-15: Iteraciones del algoritmo BRIM para detectar comunidades en las redes de consumo de energía y género. Se puede observar la naturaleza estocástica del algoritmo y como puede llegar a detectar diferentes número de comunidades y con diferente valor de modularidad (Q)

El algoritmo tiene una naturaleza estocástica y por lo tanto pueden cambiar sus resultados en diferentes corridas del programa. En la figura 3-15 se muestran las iteraciones que se

hicieron del algoritmo para detectar las comunidades de las redes para cada uno de los años. Se puede observar cómo es que el número de comunidades cambia y arrojan diferentes valores de modularidad.

La red con mayor modularidad es la del año 2020 $Q \approx 0.23$, mientras que las de los años 2016 y 2018 tienen valores de modularidad muy similares $Q \approx 0.2$. Los valores comunes de modularidad varían dependiendo el tipo de red que se trata. Al ser la primera vez que se realiza una red de este tipo no existen comparativos para saber si las redes tienen una estructura de comunidades muy definida. Las comunidades que se detectan con mayor modularidad son las que parten la red en 4 comunidades.

En la figura **3-16** se muestran las redes de consumo de energía y género para cada año pero ahora los nodos están coloreados no por el tipo de nodos sino por la comunidad a la que pertenecen. Nuevamente se remueven los nombres de los nodos por cuestiones de visualización. Se puede observar que la clasificación de comunidades es muy similar para cada una de las redes, lo que puede indicar que hay comunidades que representan a los mismos tipos de hogares.

En la tabla **3-3** se muestran las diferentes comunidades que se encontraron para las redes y los tipos de hogares presentes en la comunidad para cada año del análisis. Como se mencionó anteriormente, se puede observar que existen comunidades que representan al mismo tipo de hogares para los tres años, por ejemplo las comunidades C1, C5 y C9 que tienen al tipo de hogar M4 y las comunidades C3, C6 y C10 que tienen a la comunidad H4. Las otras comunidades sufren cambios a lo largo del tiempo y se integran o desplazan los tipos de hogares.

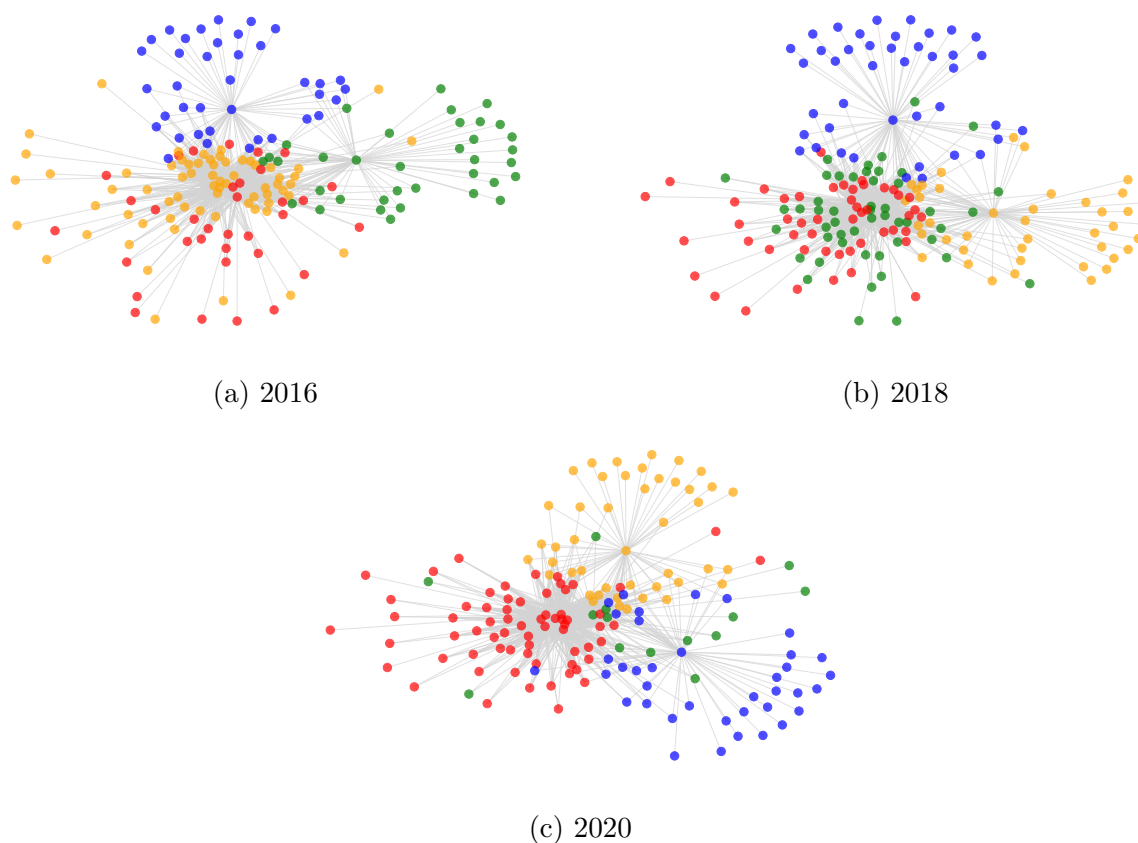


Figura **3-16**: Detección de comunidades en las redes de consumo de energía y género usando el algoritmo BRIM y maximizando su modularidad.

Comunidad	Año	Clasificación de hogares
C1	2016	M4
C2		M1, H1, M2, H2, M3, M6, H6
C3		H4
C4		H3, M5, H5
C5	2018	M4
C6		H4
C7		H3, M5, H5, M6, H6
C8		M1, H1, M2, H2, M3
C9	2020	M4
C10		H4
C11		M5
C12		M1, H1, M2, H2, M3, H3, H5, M6, H6

Cuadro **3-3**: Comunidades encontradas para cada año y el tipo de hogares presentes.

Para facilitar su descripción temporal se clasifican las comunidades que pueden representar las mismas comunidades en cada año en grupos. Los grupos tienen como objetivo representar las comunidades que son similares a lo largo del tiempo para observar su evolución. En la tabla 3-4 se muestra el nombre de las comunidades para cada año y el nombre del grupo que se asigna. El intercambio de tipos de hogares está señalado en corchetes y es con respecto al año anterior.

Grupo	2016	2018	2020
1	C1	C5	C9
2	C2	C8 [-M6,-H6]	C12 [+M6,+H6,+H3,+H5]
3	C3	C6	C10
4	C4	C7 [+M6,+H6]	C11 [-M6,-H6,-H3,-H5]

Cuadro 3-4: Grupos de comunidades que representan a las mismas clasificaciones de hogares a lo largo del tiempo y los tipos de hogares que se modifican con respecto al año anterior

Se puede observar que el grupo 1 y el grupo 3 no cambian, mientras que el grupo 2 y el grupo 4 tienen un intercambio en el tipo de hogares que incluyen. Esto es, algunos tipos de hogares se mueven de una comunidad a otra. Una observación interesante es que los hogares con todos los rangos de edad en el hogar adultos, mayores y menores (M6 y H6) se mueven juntos sin importar el sexo del representante del hogar. Esto parece indicar que no existe una diferencia derivada del sexo de la persona referente del hogar, ya que su consumo es tan similar que siempre los asocia en la misma comunidad.

Los hogares compuestos por adultos también se mantienen en la misma comunidad para ambos sexos (M1 y H1), así como los hogares con adultos y menores (M2, H2). Nuevamente esto parece indicar que no hay mucha diferencia debido al sexo de la persona representante del hogar y en este caso los rangos de edades ayudan más a describir un consumo de energía del hogar para estos hogares.

Por otro lado, los hogares con hombres representantes del hogar con adultos y mayores (M3 y H3) y con mayores (M5 y H5) se mueven por las comunidades independiente de su contra parte de sexo. Esto indica que sí existen diferencias en el consumo de energía que están relacionadas con el sexo de la persona referente del hogar y ya no por el rango de edad de las personas que lo integran.

Como se mencionó antes, los hogares con mayores y menores (M4 y H4) representan una comunidad por sí solos para cada sexo y separados del resto de tipos de hogares. Esto indica que su consumo de energía es distinto al del resto y que no hay una relación ni del sexo de la persona referente del hogar ni de los rangos de edad, estos hogares tienen su propio comportamiento en el consumo energético.

En las figuras **3-17** y **3-18** se muestra un diagrama del intercambio de todos los nodos dentro de los grupos. Se observa que el intercambio de nodos en esta escala es muy alto. Esto quiere decir que muy pocos nodos se mantienen en la misma comunidad y muchos nodos se mueven dentro de las comunidades. Esto es aún más interesante porque en algunas grupos tienen la misma clasificación de hogar. Por ejemplo, el grupo 1 tiene una sola clasificación de hogar, *mujer representante del hogar con mayores y menores* (M4) y aún así el intercambio de nodos es muy alto. Esto mismo sucede para el grupo 3 que es su paralelo con sexo del representante del hogar hombre (H4).

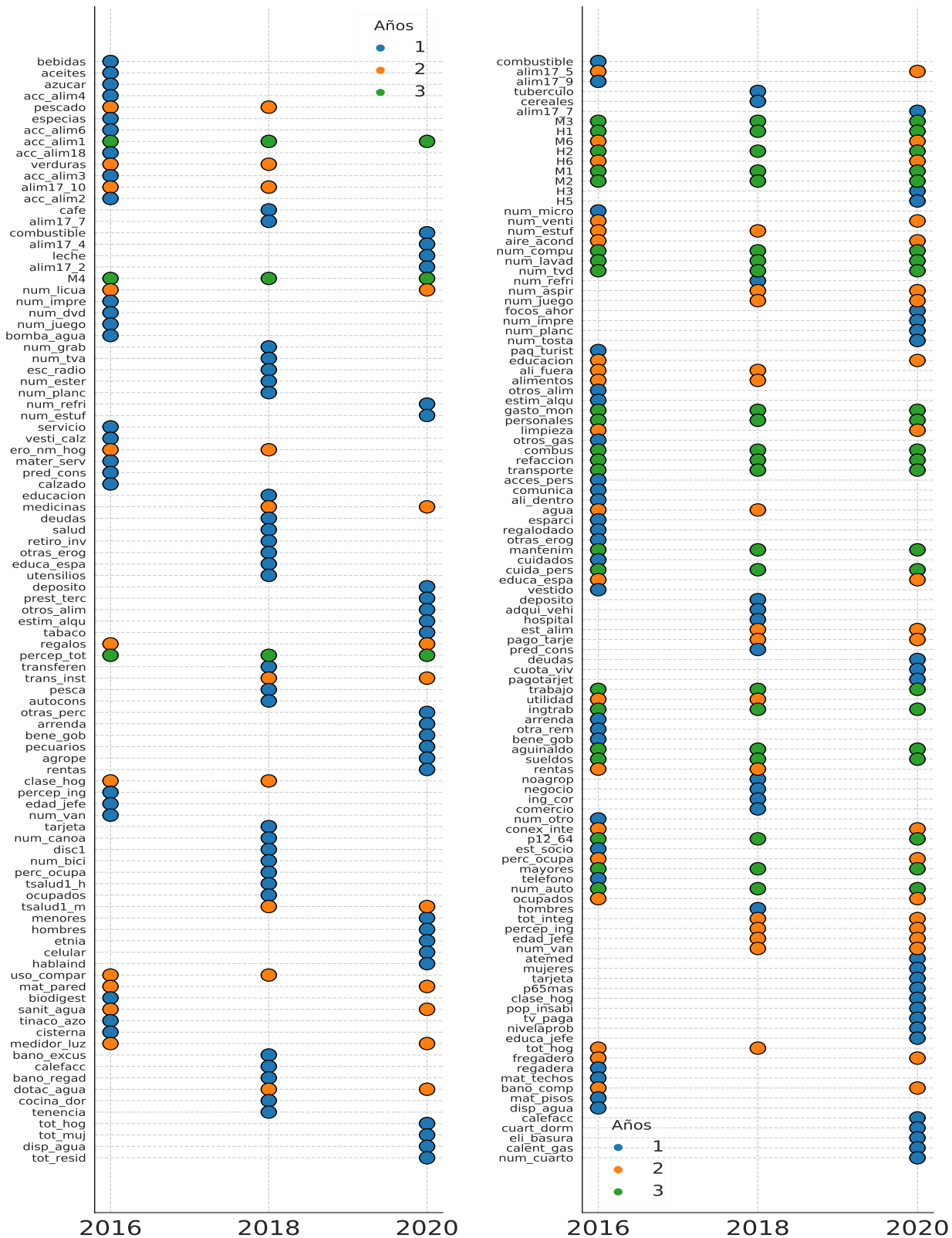
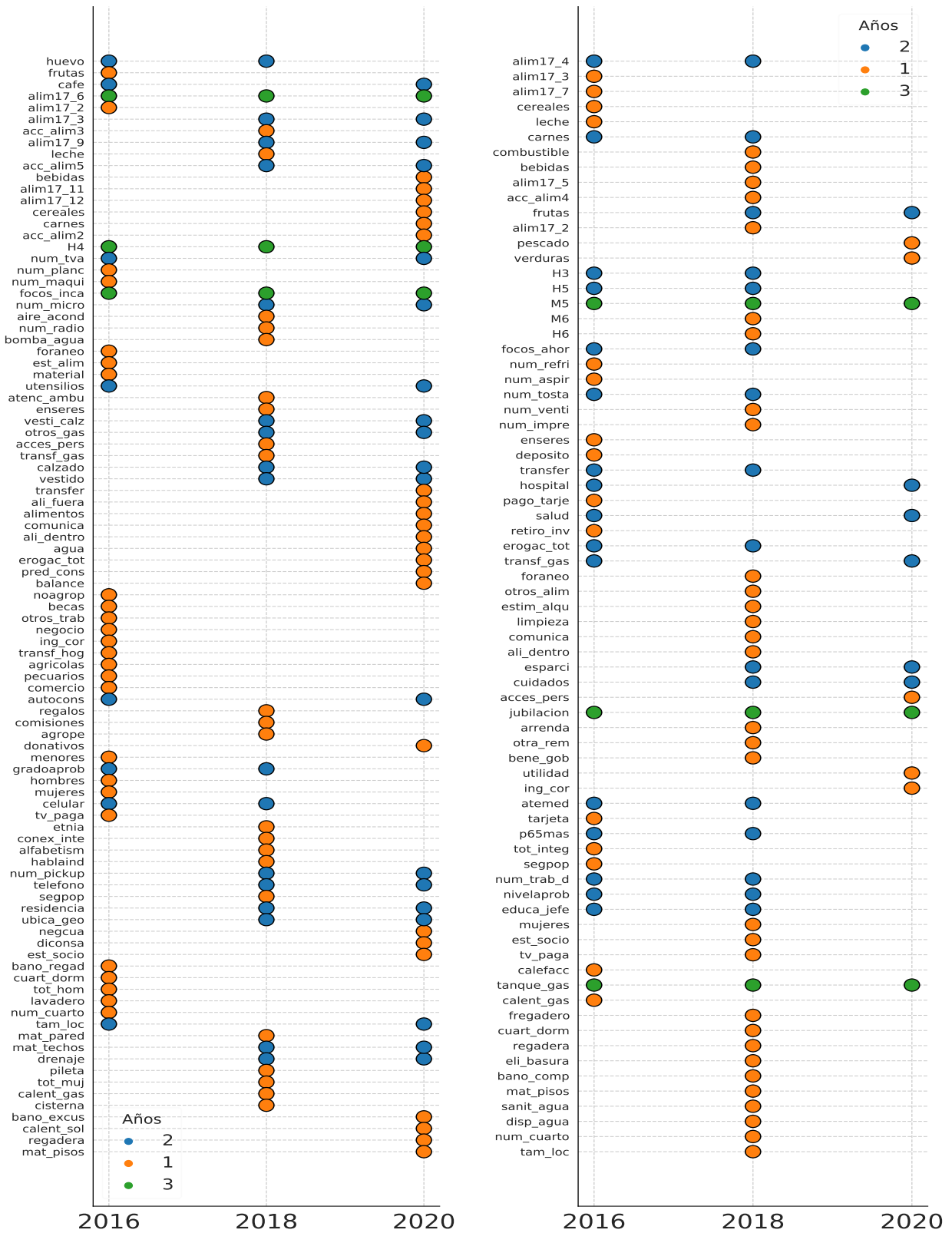


Figura 3-17: Intercambio de nodos dentro de los grupos 1 y 2.



(a) Grupo 3

(b) Grupo 4

Figura 3-18: Intercambio de nodos en los grupos 3 y 4

En la tabla **3-5** se muestran los coeficientes de intercambio de nodos para los diferentes grupos. En conjunto con las figuras **3-17** y **3-18** indican que dentro de los grupos existe un alto intercambio de nodos que representan el consumo de energía de las clasificaciones de hogares. Es decir, en escala global las redes son más estables mientras que en una escala de nodos existe un alto intercambio a lo largo del tiempo, haciéndolas redes muy dinámicas.

Cuadro **3-5**: Coeficientes de intercambio de nodos para los grupos de comunidades

Grupo	2016-2018			2018-2020			2016-2020		
	C_n	C_p	C_d	C_n	C_p	C_d	C_n	C_p	C_d
1	0.46	0.13	0.41	0.42	0.1	0.48	0.44	0.1	0.44
2	0.23	0.33	0.44	0.43	0.35	0.22	0.32	0.35	0.32
3	0.5	0.08	0.42	0.4	0.24	0.36	0.51	0.11	0.38
4	0.5	0.24	0.26	0.14	0.1	0.76	0.19	0.14	0.67

En la figura **3-19** se muestra el número de variables de cada tipo que están presentes por grupo y por año. La finalidad de esta figura es describir el tipo de variable que describe el consumo de energía en los diferentes grupos y cómo es que están cambiando a lo largo del tiempo.

Se puede observar que el tipo de variables que describen el consumo de energía de cada hogar cambia en cada año. Sin embargo, hay tipos de variables que resaltan en algunos años en particular, por ejemplo, el grupo 1 en el 2016 las variables de alimentación tienen un alto número de variables. Esto quiere decir que las decisiones sobre el consumo de alimentos en los hogares del grupo 1 describen en mayor medida su consumo energético.

El grupo 2 y 3 experimentan cambios en las variables de tipo gasto. Para el grupo 2 las variables de gasto dejaron de ser relevantes al pasar el tiempo mientras que para el grupo 3 se volvieron más relevantes para describir su consumo energético. Particularmente el incremento en la importancia de las variables de gasto para el grupo 3 podría indicar que los hogares de este grupo los gastos se vieron incrementando a la par del consumo de energía.

El grupo 4 tiene un alto número de variables de tipo gasto, perfil y vivienda en diferentes años y también experimenta una falta de variables de tipo electrodoméstico y perfil para el año 2020. Esta falta de variables es interesante ya que quiere decir que ningún electrodoméstico fue relevante para describir su consumo de energía. Esta idea no resulta trivial debido a que es relativamente común que los electrodomésticos describan el consumo energético en los hogares. Esta ausencia de variables se podría derivar a que la relevancia de los electrodomésticos era más importante para el consumo de energía de los otros grupos. De forma similar, la ausencia de variables de tipo perfil indica que para este grupo las características que describen a las personas del hogar no tienen importancia en su consumo de energía.

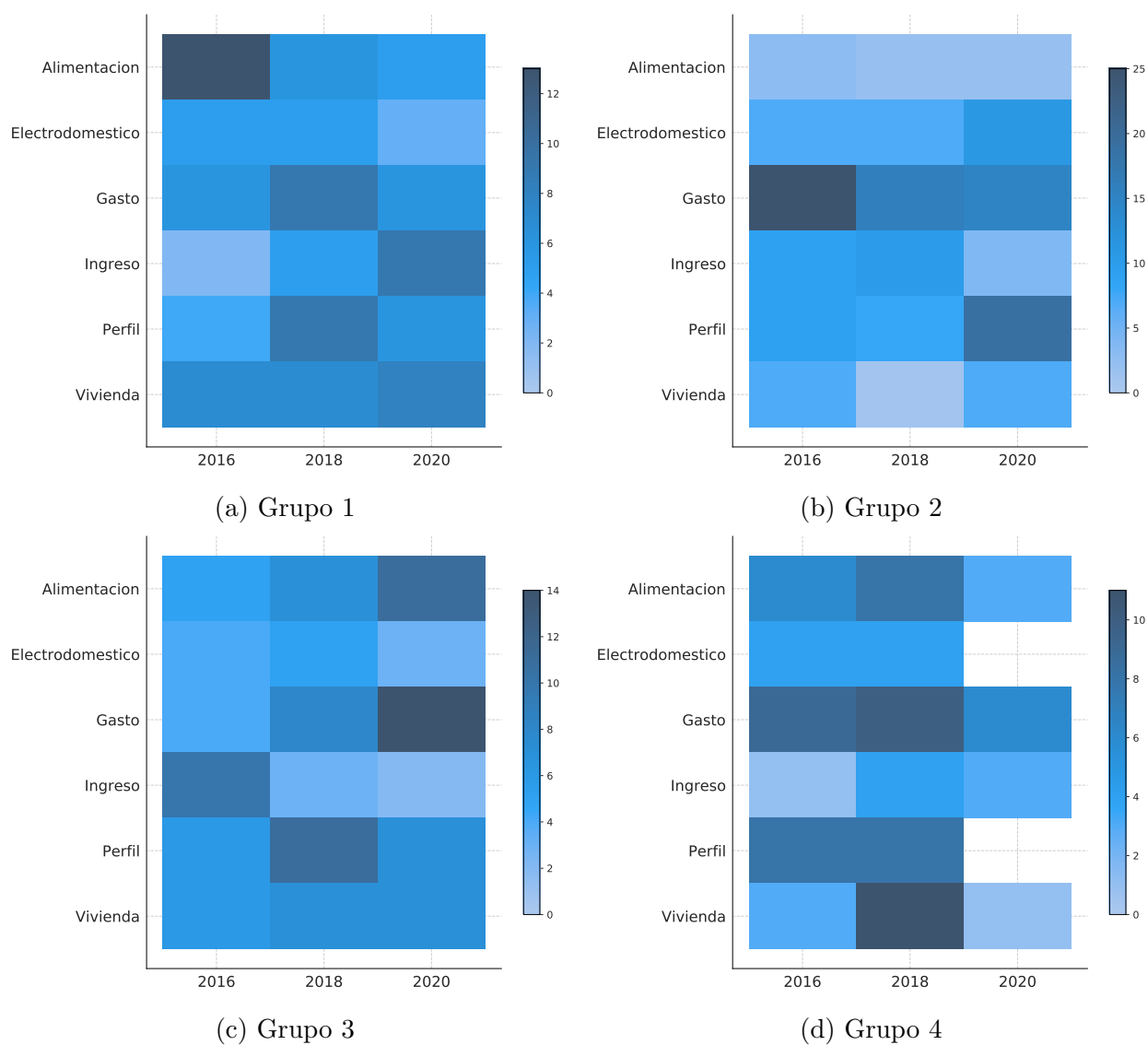


Figura 3-19: Número de variables de cada tipo en cada uno de los grupos por año

En la siguiente sección se muestra a modo de ejemplo una descripción cualitativa de su consumo de energía y sus hábitos de vida que se puede obtener de las comunidades.

3.5. Ejemplo de análisis cualitativo de comunidades

En esta sección se describirá la comunidad 1 del año 2016 (C1) de forma cualitativa. Esta descripción es un ejemplo del tipo de detalle que se puede obtener de las redes de consumo de energía y género.

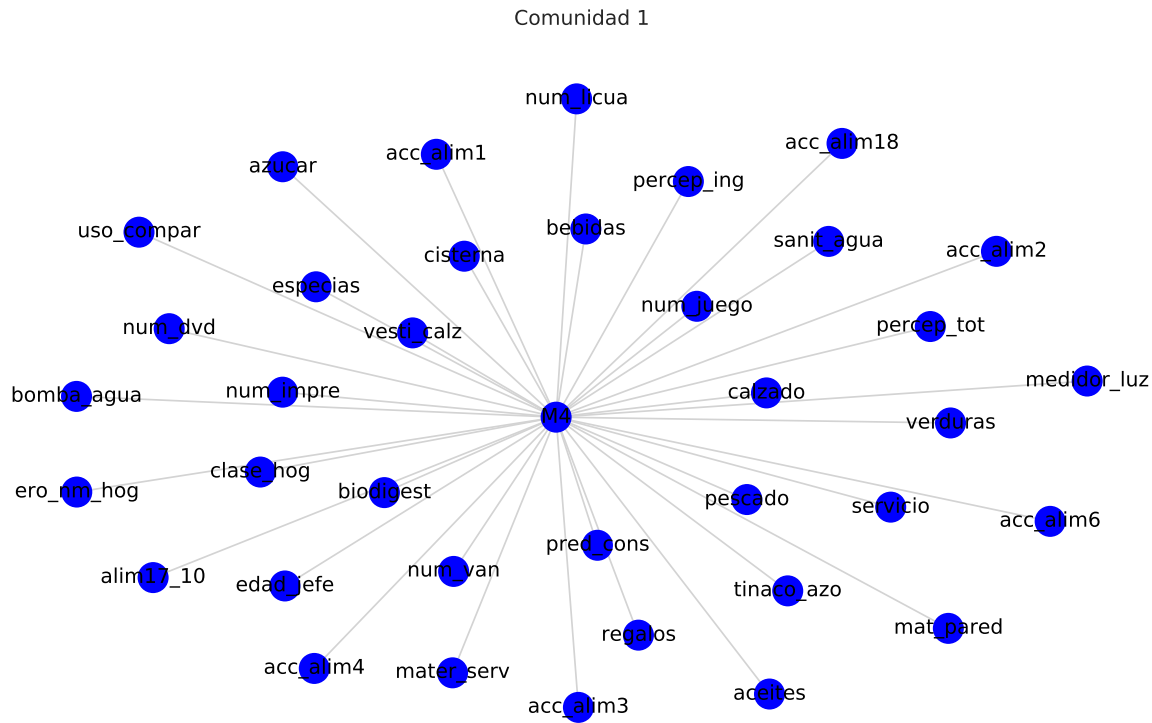


Figura 3-20: Comunidad 1 de la red de género y energía del año 2016

La figura 3-20 describe las clasificaciones de hogares y las variables de la ENIGH de la comunidad C1. Esta red está compuesta únicamente por una clasificación de hogares M4 que es la de *mujer mayor representante del hogar que vive con menores*. En el análisis temporal esta clasificación de hogar pertenece al grupo 1 y siempre se mantiene en el mismo grupo.

Esta comunidad estaba ubicada dentro de la red en una de las partes externas y representa un nodo de clasificación del hogar de tipo A) de acuerdo a la figura 3-11 (altos valores de fuerza y bajo coeficiente de clustering de los nodos). Las variables de la ENIGH a los que está conectado son nodos de tipo a) de la misma figura. Es decir, en términos de la red completa esta clasificación del hogar ocupa un lugar más externo, con nodos unidos solamente a esta clasificación y es por ello que se detecta como una sola comunidad a lo largo del tiempo.

Esta comunidad está conectada con 13 variables de alimentación. Algunas de estas variables describen **problemas en el acceso a alimentos** (acc_alim-1,2,3,4,6 y 18). Otras variables se refieren **al número de días que consumieron aceites y el gasto que tuvieron en bebidas, pescado, verduras, aceites, azúcar y especias**. Esta combinación de variables resulta interesante porque, a pesar de describir problemas en el acceso de alimentos también muestran gasto en alimentos referentes a una dieta variada.

Hay 7 variables de vivienda en la comunidad que describen características como la **dispo-**

nibilidad de equipamiento (tinaco en la azotea, cisterna, biodigestor y medidor de luz), **servicios sanitarios** (uso compartido del sanitario y la conexión de agua en el sanitario) y **materiales de las paredes de la vivienda**. Para estos hogares el consumo de energía está ligado a la disponibilidad de diversos equipamientos en el hogar, así como el material de las paredes. Además, las variables muestran la deficiencia de servicios sanitarios propios y una dependencia del tipo de material de la vivienda con el consumo de energía.

La comunidad C1 tiene agrupadas 4 variables de perfil que describen características como **la percepción de ingresos**, el **número de vehículos tipo van**, las **relaciones de parentesco** de las personas que integra el hogar y la **edad de la persona representante del hogar**. Estas variables describen más a detalle las características de las personas. La relación de parentesco resulta importante para su consumo de energía, lo que indica que la persona con la que está relacionada hace que consume más o menos energía. Podría resultar interesante a nivel cualitativo qué tipo de dinámica derivada de la relación de parentesco hace que se relacionen con este tipo de hogar.

Con respecto a las variables de ingresos económicos aparecen los ingresos por **regalos dados** y las **percepciones totales**. La presencia de la variable que describe los regalos podría describir que este tipo de hogar presenta dificultades en sus ingresos económicos, por lo que los ingresos por regalos se relacionan al gasto en consumo de energía; o representan hogares con una buena red de relaciones dentro de las comunidades y que les proporcionan recursos en forma de regalos.

En términos de gastos, este tipo de hogar tiene variables como **gasto en vestido y calzado**, los gastos en **predial y cuotas** por servicios, el gasto por **servicios de reparación de la vivienda**, gasto por **materiales para los servicios de reparación de la vivienda** y el gasto por **erogaciones no monetarias del hogar**. De acuerdo a los gastos se puede interpretar como que algunos hogares de este tipo realizaron gastos en la mejora o reparación de la vivienda y en su mantenimiento en general, además de los gastos derivados de los impuestos a la vivienda y cuotas.

Finalmente, en electrodomésticos aparecen variables como **el número de videojuegos, dvds, bombas de agua, licuadoras e impresoras**. La presencia de estos electrodomésticos puede describir que son los principales electrodomésticos que se usan en este tipo de hogares. Los videojuegos pueden deberse a la presencia de menores en el hogar y su uso como entretenimiento principal junto con los dvds. La bomba de agua, licuadoras e impresoras se relacionan más a las posibles actividades que realizan dentro del hogar como son la preparación de alimentos, el acarreo del agua y material escolar.

Capítulo 4

Conclusiones

En diversos trabajos se explora la idea de que el consumo de energía y el género de las personas está relacionado. Aún más allá, también se han explorado las implicaciones de no considerar el género en los estudios y proyectos energéticos. Estos esfuerzos buscan utilizar la energía -un recurso básico para el desarrollo- como un medio para impulsar una equidad de género.

Sin embargo, el camino aún no está determinado y existe mucha discusión sobre la mejor forma de abordar el nexo de género y energía. Este trabajo busca contribuir desde una perspectiva basada en datos y modelando el sistema como un sistema complejo. Al mismo tiempo, se toma en cuenta la discusión sobre la necesidad de incorporar las ciencias sociales en esta temática. Se busca que este trabajo sirva como base para un análisis cualitativo sobre las relaciones entre el consumo de energía en los hogares y el género. De esta forma, se puede combinar una metodología que pueda combinar información cuantitativa y cualitativa de la forma en la que las personas consumen energía en los hogares mexicanos.

La metodología desarrollada es capaz de condensar la información de una base de datos muy amplia, en términos de descripción de los hogares y del número de hogares, para representar el consumo de energía de los hogares de acuerdo a las personas que los integran. Al ser eficiente en términos computacionales permite realizar un análisis temporal, de manera que se observen su dinámica. Como caso de estudio se aplicó para la *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares* (ENIGH) de los años 2016, 2018 y 2020. Para este caso de estudio se realizó una clasificación de género que se basa en el sexo de la persona referente del hogar y de los rangos de edad de sus integrantes.

En el caso de estudio de la ENIGH se encontró que las variables que describen el consumo de energía de un hogar siguen una distribución de Pareto. Con el fin de reducir la dimensionalidad, se usó un procedimiento alternativo al de una distribución de Pareto y basado en componentes principales, donde se obtienen las variables que tienen una mayor representación del consumo de energía de acuerdo a cada tipo de hogar.

Se usó un modelo de red bipartita ponderada para modelar las relaciones entre los tipos de hogares y las variables que describen el consumo energético. Un tipo de nodos representan las clasificaciones de los hogares y el otro tipo de nodos representa las variables que influyen en su consumo de energía. Este modelo tiene la ventaja de describir las relaciones de género y energía como un sistema complejo, donde se puede ver las interacciones que tienen las personas con su hogar de acuerdo a las características de las personas y de su hogar como entorno. Verlos como sistema complejo permite comparar cómo es que se lleva a cabo la interacción de diferentes tipos de hogares.

La metodología además es flexible en términos de la clasificación de hogares y de la base de datos. Esto permite que pueda ser utilizada para analizar diferentes aspectos de las personas que integran los hogares y que se usen bases de datos de diferente naturaleza respondiendo a diferentes fines de investigación.

En base al caso de estudio de este trabajo, se obtuvieron 12 clasificaciones de hogares distintas en cada año. Derivado del análisis de redes y de sus comunidades se puede concluir que:

- Los hogares que cuentan con personas *mayores* (M5,H5) y con *adultos y mayores* (M3,H3) se mueven de comunidad separados de su contra parte de sexo de la persona referente del hogar. En esos hogares el sexo de la persona referente del hogar parece describir mejor su consumo de energía y no por el rango de edad de las personas que viven dentro del hogar. Esto responde a la pregunta *¿Qué influencia tiene el sexo de las personas referentes del hogar en las decisiones del consumo de energía?* (pregunta 1. planteada en la sección 3.1.1), describiendo que para los hogares con mayores y adultos y mayores el sexo de la persona referente del hogar tiene una influencia mayor en su consumo de energía que el rango de edad de los integrantes.
- Existen hogares donde el rango de edad de las personas es un factor que describe mejor su consumo de energía y no parecen tener diferencia de acuerdo al sexo de la persona referente del hogar. Por ejemplo, los hogares con *adultos, mayores y menores* (M6 y H6) se mueven de comunidad juntos para ambos sexos de las personas referentes del hogar. Y los hogares con *adultos* (M1,H1) y *adultos con menores* (M2,H2) se mantienen siempre en la misma comunidad para ambos sexos de las personas referentes del hogar, lo que responde la pregunta *¿Qué influencia tiene el rango de edad en las personas que integran los hogares?* (pregunta 2. de la sección 3.1.1).

- Los hogares con *mayores y menores* (M4, H4) se comportan muy diferente en su consumo de energía que el resto de los tipos de hogares. Estos hogares además muestran diferencias de género al estar separados cada uno en una comunidad e independiente del sexo de la persona referente del hogar.
- El resto de los hogares se agrupa principalmente en dos comunidades y se mueven por las comunidades a lo largo del tiempo. Esto quiere decir que el consumo de energía de los hogares es dinámico y hace que se relacionen con diferentes tipos de hogares en cada año.

Estas diferencias en el comportamiento de las clasificaciones de hogares en las redes de consumo de energía y género describen comportamientos cuantitativos distintos entre ellas. De esta forma, se puede decir que la clasificación de género propuesta, donde se integra el sexo de las personas referentes del hogar así como los rangos de edad de los integrantes del hogar, sí muestran diferencias respondiendo a la pregunta *¿Existen diferencias cuantitativas y cualitativas del comportamiento del consumo energético derivadas por el sexo de la persona referente del hogar y los rangos de edad de los integrantes?* (pregunta 3. planteada en la sección 3.1.1). Aún no queda completamente resuelta la cuestión de si existen diferencias cualitativas en el consumo del hogar de acuerdo a la clasificación de género propuesta. En este trabajo se deja simplemente el marco de trabajo con el cuál se podría responder, pero no se llega a una respuesta concluyente de la segunda parte de la pregunta 3.

La metodología de este trabajo permite también realizar análisis a diferentes escalas, desde un comportamiento global como sistema completo a un nivel de detalle que permite describir los hábitos de vida y de consumo de energía para cada comunidad de hogares. En términos globales el sistema de consumo de energía y género tiene una estructura disortativa y con una estructura muy definida sin cambios significativos a lo largo del tiempo. Se puede modelar el sistema como una red de Barabasi-Albert donde los hubs son los tipos de hogares y el resto de los nodos son las variables de la ENIGH.

Se detectaron diferentes comportamientos tanto de los tipos de hogares propuestos como de las variables que representan su consumo de energía. En términos de las variables que describen el consumo de energía existen tres tipos de comportamientos:

- Existen variables que describen el consumo de energía de todos o casi todos los tipos de hogares. Estos se encuentran ubicados en la región central de las redes de consumo de energía y género.
- Existen variables que son características para solo un tipo de hogar y que ayudan a caracterizar particularidades en su consumo de energía. Estas variables se ubican en la periferia de las redes y están ligados sólo a un tipo de hogar.

- Existen variables que describen el consumo de energía de ciertos tipos de hogares y que tienen un comportamiento intermedio entre los descritos anteriormente. Estos se encuentran ubicados en diferentes secciones de las redes.

Como se mostró en el ejemplo del análisis a nivel de comunidades de la sección 3.5 es posible describir los hábitos de vida y de su consumo de energía para los diferentes tipos de hogares, relacionando los tipos de hogares y las variables a las que están unidas. Se responde entonces a la pregunta *¿Qué nos pueden decir las variables más relacionadas con el consumo de energía sobre los hábitos de los tipos de hogares y viceversa?*, que es posible obtener una narrativa basada en datos de las condiciones y dinámicas de consumo de energía de las personas. Se recomienda que a este nivel de detalle se cuente con un equipo multidisciplinario que incluya personas que tengan una formación en ciencias sociales, de manera que puedan describir de forma más precisa la información proveniente del sistema de consumo de energía y género.

Por otro lado, aunque la estructura de las redes de consumo de energía y género se mantiene a lo largo del tiempo, a nivel de comunidades y de nodos las redes son altamente dinámicas. En las comunidades existe un alto intercambio de nodos, es decir, que los nodos se mantienen en el sistema pero no conectados exactamente a los mismos elementos. Esto provoca que de manera global la estructura del sistema parezca estático. Sin embargo, a nivel de las conexiones de los nodos la conexiones no son las mismas y se están moviendo constantemente. Este comportamiento resulta particularmente interesante para la descripción del sistema y responde la pregunta 5. *Han cambiado en el tiempo la interacción que tienen los hogares con su consumo de energía de acuerdo a la clasificación de género propuesta?* planteada en la sección 3.1.1. Se fomenta que el análisis continúe en las versiones posteriores de la ENIGH para observar si se detectan cambios en una mayor ventana de tiempo y, particularmente, derivados de la pandemia de COVID-19.

4.1. Trabajos futuros

Un primer trabajo a futuro es realizar un análisis con el máximo nivel de detalle junto con un equipo multidisciplinario para obtener aún más hipótesis y descubrimientos que puedan surgir de este modelo. De esta forma, el trabajo se puede nutrir de diferentes puntos de vista y discutir otras ventajas y desventajas de las que se discuten en este trabajo.

Esta metodología es un primer intento de modelar las relaciones de consumo de energía y género como un sistema complejo. Y como un primer trabajo aún deja muchas interrogantes sobre su funcionamiento y su exactitud al momento de representar el sistema real. Por ejemplo, el sistema cambiará inherentemente con la clasificación de género propuesta y con la base de datos que se use. Esto deja algunas interrogantes importantes:

1. ¿Cómo medir la exactitud de la red para describir el sistema?
2. ¿Qué clasificación de género usar para describir mejor el sistema?
3. ¿Cómo seleccionar la mejor base de datos?
4. ¿Existen otros modelos de red que puedan describir mejor el sistema?

La primer pregunta es esencial para contestar el resto. Es importante encontrar un parámetro o serie de parámetros (pueden ser parámetros cualitativos) que permitan describir la exactitud del modelo con la realidad y que puedan funcionar como calibradores para mejoras en la metodología y el modelo. Sin embargo, debido a la naturaleza social y al alcance que se busca para esta metodología surge el problema de cómo medir si los resultados obtenidos en este trabajo representan la realidad.

Mi propuesta para esta pregunta es usar el bootstrapping que es un análisis de remuestreo que permite desarrollar intervalos de confianza y contrastar hipótesis sobre parámetros específicos [53–56]. De esta forma se puede usar como una herramienta para determinar si la estructura de las redes es más o menos cercana a la de una red aleatoria. En este caso se mediría la diferencia de la estructura resultante con la de una red donde todos los nodos están conectados por azar para determinar si las redes tienen una estructura característica.

La pregunta 2. es la más complicada de contestar desde mi punto de vista. Esto es porque realizar una clasificación de género no es una tarea objetiva y el género es un aspecto dinámico como se mencionó anteriormente. Desde un punto de vista de formación en ingeniería, sería fácil decir que la mejor clasificación de género es la que mejor represente al sistema. Desafortunadamente en aspectos sociales esto no funciona así (o al menos así lo creo ahora).

Considero que puede ser útil ver en términos numéricos lo que funciona mejor (en caso de que se pueda resolver la pregunta 1.), pero si eso no me permite observar los detalles que estoy buscando los términos numéricos pierden sentido. Mi opinión sobre la pregunta es que el modelo propuesto permite una clasificación de género flexible y que pueda ser definida previo al modelo y de acuerdo a los datos con los que cuentas. De esta forma se puede agregar definir fácilmente la clasificación que convenga para el análisis. Sin embargo, también se tiene que ser analítico y si con la clasificación de género propuesta se tiene mucha incertidumbre sobre la exactitud de los resultados, hay que ser críticos con los resultados y las conclusiones que se puedan derivar.

Sobre la pregunta 3. creo que el camino es muy similar al de la pregunta 2. Considero que de acuerdo a lo que estás interesado en analizar es posible buscar la base de datos (o diseñar una) que te permita usar la metodología propuesta en este trabajo. Es decir, nuevamente es una cuestión subjetiva y el aspecto crítico es fundamental.

Finalmente, durante este trabajo se hicieron varias consideraciones con respecto al modelo y la metodología en general. Pero al ser un primer intento, no se tienen precedentes y pueden existir otros modelos o consideraciones que puedan representar mejor el sistema de consumo de energía y el género en los hogares.

Personalmente, creo que un modelo de red tipo multiplex [57–60] puede funcionar para describir las diferentes dimensiones del sistema, incluyendo el análisis temporal y geográfico, que tenga un mayor alcance de análisis de sus propiedades. Pero otras variaciones sobre el mismo modelo de red de este trabajo pueden resultar en mejoras o en nuevos descubrimientos.

Apéndice A

Repositorio

A.1. Ubicación y descripción del repositorio

Los cálculos realizados para este trabajo se pueden encontrar en el repositorio ubicado en la liga [Gender Networks repository](#). En la carpeta de [data](#) se ubica el archivo *DataAcquisition-Manual* donde se describen las instrucciones para la descarga de los archivos directamente de la página de la ENIGH desarrollada por el INEGI. En la misma carpeta, se pueden encontrar los archivos descriptores de las variables. En estos archivos descriptores de las variables se detalla el significado de cada variable, el tipo de variable y la pregunta específica con la que se obtiene la información o se deriva de otras variables.

Para el análisis geográfico, es necesario traducir las claves de la localidad en coordenadas geográficas. El archivo para dicha conexión se puede descargar directamente de la página del INEGI [Catálogo Unico de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades](#).

El archivo *VariableClassification.csv* es una lista de todas las variables que se usan en el trabajo y su respectiva clasificación descrita en la sección 2.6 para el análisis cualitativo del modelo. Como se mencionó en el trabajo, esta clasificación surge de consultas con las científicas sociales Mtra. Sandra Caballero y la Dra. Ana Gabriela Rincón Rubio. Ellas proporcionaron un esquema de división de las variables pero la versión final toma en cuenta dicha propuesta de clasificación y la estructura de la encuesta ENIGH.

Cualquier duda o comentario enviar correo a guolg@ier.unam.mx

Bibliografía

- [1] Beatrice Khamati-Njenga and Joy Clancy. Concepts and issues in gender and energy. *First Monday - FIRSTMONDAY*, 1(January), 2003.
- [2] Sarah Bradshaw. Sex disaggregation alone will not energize equality. *Nature Energy*, 3(10):813–815, 2018.
- [3] Barbara J. Risman. Gender as a social structure: Theory wrestling with activism. *Gender and Society*, 18(4):429–450, 2004.
- [4] Joy Clancy and Ulrike Roehr. Gender and energy: is there a Northern perspective? *Energy for Sustainable Development*, 7(3):44–49, 2003.
- [5] Martha C. Nussbaum. *Women and human development. The capabilities approach*. Cambridge University Press, New York, 1 edition, 2000.
- [6] Benjamin K. Sovacool, Roman V. Sidortsov, and Benjamin R. Jones. *Energy security, equality, and justice*. Routledge, Oxon, 1 edition, 2014.
- [7] Yannick Glemarec, Fiona Bayat-Renoux, and Oliver Weissbein. Removing barriers to women entrepreneurs’ engagement in decentralized sustainable energy solutions for the poor. *AIMS Energy*, 4(1):136–172, 2016.
- [8] Oliver W. Johnson, Jenny Yi Chen Han, Anne Louise Knight, Sofie Mortensen, May Thazin Aung, Michael Boyland, and Bernadette P. Resurrección. Intersectionality and energy transitions: A review of gender, social equity and low-carbon energy. *Energy Research and Social Science*, 70(September):101774, 2020.
- [9] Keith B.G. Dear and Anthony J. McMichael. The health impacts of cold homes and fuel poverty. *Bmj*, 342(7806), 2011.

-
- [10] John Hills. Getting the measure of fuel poverty. *Final Report of the Fuel Poverty Review*, page 19, 2012.
- [11] Stefan Bouzarovski and Saska Petrova. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. *Energy Research and Social Science*, 10:31–40, 2015.
- [12] Luc Soete, Susan Schneegans, Deniz Eröcal, Baskaran Angathevar, and Rajah Rasiah. UNESCO Science Report: Executive Summary. Technical report, UNESCO, Paris, 2015.
- [13] Senay Habtezion, Verania Chao, Kaylan Keo, Yolanda Villar, and Oliver Waissbein. Gender and sustainable energy Sustainable. Technical report, UNDP, New York, 2016.
- [14] Benjamin K. Sovacool. What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda. *Energy Research and Social Science*, 1:1–29, 2014.
- [15] Romy Listo. Gender myths in energy poverty literature: A Critical Discourse Analysis. *Energy Research and Social Science*, 38(January):9–18, 2018.
- [16] Sarah E. Ryan. Rethinking gender and identity in energy studies. *Energy Research and Social Science*, 1:96–105, 2014.
- [17] Kristina Ek and Patrik P. Söderholm. The devil is in the details: Household electricity saving behavior and the role of information. *Energy Policy*, 38(3):1578–1587, 2010.
- [18] Alison Blunt and Robyn Dowling. *Home*. Routledge, Oxon, 1 edition, 2006.
- [19] Tindara Addabbo, Marie-Pierre Arrizabalaga, and Alastair Owens. *Gender Inequalities, Households and the Production of Well-Being in Modern Europe*. Routledge, Oxon, 1 edition, 2020.
- [20] Andrew Gorman-Murray and Peter Hopkins. *Masculinities and Place*. Routledge, Oxon, 1 edition, 2018.
- [21] Saska Petrova and Neil Simcock. Gender and energy: domestic inequities reconsidered. *Social and Cultural Geography*, 22(6):849–867, 2019.
- [22] Allison Hui and Gordon Walker. Concepts and methodologies for a new relational geography of energy demand: Social practices, doing-places and settings. *Energy Research and Social Science*, 36(August 2017):21–29, 2018.

-
- [23] Manlio De Domenico, Dirk Brockmann, Chico Camargo, Carlos Gershenson, Daniel Goldsmith, Sabine Jeschonnek, Lorren Kay, Stefano Nichele, José R. Nicolás, Thomas Schmickl, Massimo Stella, Josh Brandoff, Ángel José Martínez-Salinas, and Hiroki Sawayama. COMPLEXITY EXPLAINED, 2019.
- [24] Warren Weaver. Science and complexity. *American Scientist*, 36(536):13, 1948.
- [25] Melanie Mitchell. *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press, New York, 2009.
- [26] André P. Neto-Bradley, Rishika Rangarajan, Ruchi Choudhary, and Amir B. Bazaz. Energy transition pathways amongst low-income urban households: A mixed method clustering approach. *MethodsX*, 8, 2021.
- [27] Lucie Middlemiss, Pepa Ambrosio-Albalá, Nick Emmel, Ross Gillard, Jan Gilbertson, Tom Hargreaves, Caroline Mullen, Tony Ryan, Carolyn Snell, and Angela Tod. Energy poverty and social relations: A capabilities approach. *Energy Research and Social Science*, 55(September 2018):227–235, 2019.
- [28] Caitlin Robinson. Energy poverty and gender in England: A spatial perspective. *Geoforum*, 104(June 2018):222–233, 2019.
- [29] Cheng Guanrong, Wang Xiofan, and Li Xiang. *Fundamentals of complex networks: models, structures, and dynamics*. WILEY, Singapore, 1st edition, 2015.
- [30] Ulrtk Brandes, Garry Robins, Ann Mrcr Anif, and Stanley Wasserman. What is network science? *Network Science*, 1(1):1–15, 2013.
- [31] M. E.J. Newman. Assortative Mixing in Networks. *Physical Review Letters*, 89(20):1–4, 2002.
- [32] Paul Erdos and Alfréd Rényi. On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, 6:290–297, 1959.
- [33] P. Erdos and A. Rényi. On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5, 1960.
- [34] Stanley Milgram. The small-world problem. *Psychology today*, 1(1):61–67, 1967.
- [35] Duncan J Watts and Steven H Strogatz. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(4 June):440–442, 1998.
- [36] Barabasi Albert-Laszlo and Albert Reka. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(October):509–512, 1999.
- [37] WISET. *The Role of Gender-based Innovations for the UN Sustainable Development Goals*. Heisook Lee, Seoul, 1 edition, 2016.

-
- [38] Mette Mechlenborg and Kirsten Gram-Hanssen. Gendered homes in theories of practice: A framework for research in residential energy consumption. *Energy Research and Social Science*, 67(April):101538, 2020.
- [39] INEGI. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, 2020.
- [40] CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política Pública de Desarrollo Social, 2022.
- [41] Joan W. Scott. Género: ¿Todavía una categoría útil para el análisis? *La Manzana de la Discordia*, 6(1):95, 2016.
- [42] Stephanie A. Shields. Gender: An intersectionality perspective. *Sex Roles*, 59(5-6):301–311, 2008.
- [43] Leslie McCall. The complexity of intersectionality. *Intersectionality and Beyond: Law, Power and the Politics of Location*, 30(3):49–76, 2008.
- [44] Annika Carlsson-Kanyama and Anna Lisa Lindén. Energy efficiency in residences—Challenges for women and men in the North. *Energy Policy*, 35(4):2163–2172, 2007.
- [45] Demba Ndiaye and Kamiel Gabriel. Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. *Energy and Buildings*, 43(2-3):446–453, 2011.
- [46] Gesche M. Huebner, Ian Hamilton, Zaid Chalabi, David Shipworth, and Tadj Oreszczyn. Explaining domestic energy consumption - The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes. *Applied Energy*, 159:589–600, 2015.
- [47] INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020, 2021.
- [48] Thomas M. J. Fruchterman and Edward M. Reingold. Graph Drawing by Force-Directed Placement. *Software-Practice and Experience*, 21:1129–1164, 1991.
- [49] Santo Fortunato. Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3-5):75–174, 2010.
- [50] Michael J. Barber. Modularity and community detection in bipartite networks. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 76(6):1–11, 2007.
- [51] John Platig, Peter J. Castaldi, Dawn DeMeo, and John Quackenbush. Bipartite Community Structure of eQTLs. *PLoS Computational Biology*, 12(9):1–17, 2016.
- [52] Georgios A. Pavlopoulos, Panagiota I. Kontou, Athanasia Pavlopoulou, Costas Bouyioukos, Evripides Markou, and Pantelis G. Bagos. Bipartite graphs in systems biology and medicine: A survey of methods and applications. *GigaScience*, 7(4):1–31, 2018.

-
- [53] B Efron. Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Annals of Statistics*, 7:1–26, 1979.
- [54] Mary E. Thompson, Lilia L. Ramirez-Ramirez, Vyacheslav Lyubchich, and Yulia R. Gel. Using the bootstrap for statistical inference on random graphs. *Canadian Journal of Statistics*, 44(1):3–24, 2016.
- [55] Yuzhou Chen, Yulia R. Gel, Vyacheslav Lyubchich, and Kusha Nezafati. Snowboot: Bootstrap methods for network inference. *R Journal*, 10(2):95–113, 2019.
- [56] Sixing Chen and Jukka Pekka Onnela. A Bootstrap Method for Goodness of Fit and Model Selection with a Single Observed Network. *Scientific Reports*, 9(1):1–12, 2019.
- [57] Manlio De Domenico, Albert Solé-Ribalta, Emanuele Cozzo, Mikko Kivelä, Yamir Moreno, Mason A. Porter, Sergio Gómez, and Alex Arenas. Mathematical formulation of multilayer networks. *Physical Review X*, 3(4):1–15, 2014.
- [58] P. Kazienko, K. Musial, E. Kukla, T. Kajdanowicz, and P Brodka. *Computational Collective Intelligence: Technologies and applications*, volume 6922 LNAI. Springer Verlag, Gdynia, 2011.
- [59] Shai Pilosof, Mason A. Porter, Mercedes Pascual, and Sonia Kéfi. The multilayer nature of ecological networks. *Nature Ecology and Evolution*, 1(4):1–9, 2017.
- [60] R. Maria del Rio-Chanona, Yevgeniya Korniyenko, Manasa Patnam, and Mason A. Porter. The multiplex nature of global financial contagions. *Applied Network Science*, 5(1), 2020.