



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA MICRO, PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA (MIPYME)

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

MAKARENNA PAZ TAPIA ROJAS

PROFESOR GUÍA:

DAVID CARRASCO MANRÍQUEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

JOSÉ MIGUEL CARDEMIL IGLESIAS

PAZ ARAYA JOFRÉ

SANTIAGO DE CHILE

2020

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERA CIVIL MECÁNICA
POR: MAKARENNA PAZ TAPIA ROJAS
FECHA: ENERO 2020
PROFESOR GUÍA: DAVID CARRASCO
MANRÍQUEZ**

SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA MICRO, PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA (MIPYME)

El Ministerio de Energía, a través del programa Gestiona Energía MiPyMEs, busca brindar apoyo a la micro, pequeña y mediana empresa, en la mejora del uso de los recursos energéticos, ayudándolas a ser más competitivas y sustentables. Es en base a este programa que se plantea la necesidad de generar herramientas de medición, como los indicadores energéticos, que faciliten el monitoreo y gestión del uso de la energía.

A nivel internacional, diversas organizaciones han desarrollado el concepto de Indicadores de Eficiencia Energética, ya desde principios de los 90, contando con extensas bases de datos, con indicadores de diversos grados de desagregación para los sectores residencial, industrial, servicios y transporte, generando además documentos que permitan la realización de esta labor en países en vías de desarrollo. Es en base a dichas guías metodológicas, en particular las generadas por la Agencia Internacional de Energía, que se realiza este trabajo de selección de indicadores aplicables a la MiPyME en Chile.

Para el desarrollo del trabajo, se realiza una priorización de sectores, con la que se decide enfocar los esfuerzos al sector Servicios, por ser el de mayor empleabilidad, aporte al PIB y crecimiento. Con esto, se seleccionan 5 indicadores recomendados por la AIE, 2 indicadores de sostenibilidad desde una base generada por diversas organizaciones internacionales, y 3 indicadores basados en los usos finales considerados en el programa Gestiona Energía MiPyMEs.

Los indicadores seleccionados son aplicados a 3 empresas, dedicadas al comercio al detalle, comida rápida y servicios de ingeniería, de las que se recaba información de utilización de equipos consumidores de energía, por usos finales, a través de una entrevista diseñada para dicho fin. Con los datos obtenidos, se estiman los consumos necesarios para el cálculo de indicadores, contrastando los resultados obtenidos con información de las cuentas por concepto de pago de energéticos, de al menos un año, facilitadas por las mismas empresas, obteniéndose rangos de error aceptables, siendo el máximo de un 10,4%.

Finalmente, se realizó un análisis de brechas y barreras para la implementación de los indicadores, donde se identifican problemas en 3 niveles: acceso a la información, calidad de la información y modelos de estimación.

*Yo no vi nada,
pero de que estuvo bueno,
estuvo bueno*

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi familia por su apoyo en este proceso: a mi mamá por su cariño y cuidado en cada paso que doy, a mi hermana, Pauli, por darme paz y calma cada vez que me siento incapaz de seguir, este logro es tan suyo como mío, a mi papá por su apoyo, a las hermanas de mi madre, mi ejército de mamás postizas siempre dispuestas a ayudarme en lo que necesite, a mis tíos y a mi primo Jorge, porque sé que siempre puedo contar con ustedes, a mis abuelitos, por construir con todo su esfuerzo y trabajo las oportunidades para que sus hijos y nietos podamos tener aquello que ellos no tuvieron.

Gracias a mis amigas del liceo: Chily, Shuby, Giany, Bere, Marce, Fran, Noemi y Fonse, por los innumerables paros, tomas y marchas juntas, y los muchos años de amistad, por mostrarme que el cariño y las convicciones no se desvanecen con el tiempo. A mis compañeritos de sección, Sazalar, Seba, Pels, Pancho, Negro y Dani, por ser hombres bakanes, y por las infinitas risas y sonrisas que me han regalado. A mis compañeros de la U Popular, por darme esperanza en que los cambios que nuestra sociedad necesita son posibles, pues existe gente dispuesta a poner sus manos y corazón en ello, en especial a la Ara y la Fran, por el compromiso político, el cariño, la paciencia, los bailoteos y tanto más. A mis mecánicas Maka y Coni, por aguantarme el incesable lloriqueo, por acompañarnos y ayudarnos en cada etapa de este proceso, con música, risas y muchas papitas fritas, y a mis mecánicos, al Martín, que nos hace pasar rabias, pero igual lo queremos, y en especial al Lobiano, por escucharme, apañarme y aconsejarme en mis tiempos de locura. A mis compañeritos de casa por su apoyo en esta última patita, en especial al Mati por tranquilizarme, a la Giovvy por sus tecitos y a la Cami por los chocolatitos en mis noches de trabajo, y a la Coni por alimentarme, ayudarme y aconsejarme.

A mis chiquillas del aseo, mis estudiantas, les agradezco haberme dado la oportunidad de enseñar y aprender con ustedes, por enseñarme con el ejemplo a ser una mujer más resiliente. A las autoridades de la facultad, que durante todo el proceso de internalización, me enseñaron con el contraejemplo lo que espero nunca llegar a ser.

A los profesores de mi comisión, en especial a David por guiarme en este trabajo, a todos los profesores que ayudaron a mi formación, y a la Claudia por su paciencia para responder mis múltiples preguntas sobre este proceso. Al equipo de salud mental del SEMDA, sin quienes literalmente no estaría aquí, en especial a la psicóloga Yael Weinstein y al psiquiatra Pedro Zolezzi.

Finalmente, quiero agradecer a quienes se encuentran luchando por generar los cambios que necesitamos para construir una sociedad más justa y un futuro donde todos podamos vivir con dignidad.

Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes generales	1
1.1.1	El contexto en Chile	1
1.1.2	Eficiencia energética	3
1.1.3	Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MiPyME)	3
1.1.1	Indicadores	4
1.2	Motivación	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo general	5
1.3.2	Objetivos específicos:	5
1.4	Metodología general	5
1.4.1	Revisión bibliográfica	6
1.4.2	Priorización de sectores y/o subsectores	6
1.4.3	Identificar indicadores según factibilidad y relevancia	7
1.4.4	Explorar fuentes de información y métodos de colección	7
1.4.5	Aplicación a casos reales	7
1.4.6	Análisis de brechas y barreras	7
1.5	Alcances	7
2	Antecedentes y revisión bibliográfica	9
2.1	Indicadores de Eficiencia Energética	9
2.1.1	Definición matemática	9
2.1.2	Caracterización general	9
2.1.3	Utilidad de los indicadores	11
2.2	Indicadores Energéticos de la Agencia Internacional de Energía	13
2.3	Monitoreo de eficiencia energética en Europa	16
2.3.1	Indicadores para el monitoreo de tendencias en eficiencia energética	17
2.3.2	Indicadores de comparación	17
2.3.3	Indicadores de difusión	18
2.4	Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible	18
2.5	Errores en la estimación de consumos de energía	21
3	Priorización de sectores y subsectores	22
3.1	Priorización de sectores	22

3.2	Priorización de subsectores	24
3.2.1	Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU)	24
3.2.2	Rubros del sector servicios con mayor actividad en Chile	25
4	Selección de indicadores	28
4.1	Indicadores seleccionados	28
4.2	Criterio de evaluación de los errores obtenidos	30
4.3	Metodología de cálculo	30
4.3.1	Asequibilidad (SOC2)	30
4.3.2	Diversificación (ECO13)	30
4.3.3	Iluminación:	30
4.3.4	Calefacción	31
4.3.5	Enfriamiento/AC	31
4.3.6	Agua caliente sanitaria (ACS)	33
4.3.7	Cocción, hornos y secado	34
4.3.8	Refrigeración	34
4.3.9	Lavandería	35
4.3.10	Equipos específicos	35
5	Colección de datos	36
5.1	Comercio al detalle	37
5.2	Comida rápida	37
5.3	Servicios de ingeniería	38
6	Resultados y Discusiones	40
6.1	Comercio al detalle	40
6.1.1	Generación fotovoltaica	40
6.1.2	Estimación de consumo por usos finales	41
6.1.3	Cálculo de indicadores	45
6.2	Comida rápida	46
6.2.1	Cálculo consumo aire acondicionado	47
6.2.2	Estimación de consumo por usos finales	48
6.2.3	Cálculo de indicadores	51
6.3	Servicios de ingeniería	52
6.3.1	Estimación de consumo por usos finales	52
6.3.2	Cálculo de indicadores	55
6.4	Resumen de resultados	56
7	Análisis de brechas y barreras	58

7.1	Acceso a la información	58
7.1.1	Falta de información sistematizada.....	58
7.1.2	Desconfianza empresarial	58
7.2	Calidad de la información	59
7.2.1	Desconocimiento de la información y falta de registros	59
7.2.2	Agregación de consumos residencial y productivo	60
7.3	Modelos de estimación de consumo	60
7.3.1	Consumo de gas.....	60
7.3.2	Consumo en refrigeración	61
8	Conclusiones	62
9	Bibliografía	65

Índice de tablas

Tabla 1.1.- Clasificación de MiPyMEs según ventas anuales.....	3
Tabla 1.2.- Clasificación de MiPyMEs según cantidad de empleados.....	3
Tabla 2.1.- Indicadores recomendados por AIE para el sector transporte.....	15
Tabla 2.2.- Ejemplos de unidades de actividad para el sector Servicios.....	16
Tabla 2.3.- Indicadores sociales del desarrollo sostenible.....	19
Tabla 2.4.- Indicadores económicos del desarrollo sostenible.....	19
Tabla 2.5.- Indicadores medioambientales del desarrollo sostenible.....	20
Tabla 2.6.- Errores considerados aceptables bajo distintos criterios.....	21
Tabla 3.1.- División de rubros según la CIIU 2012.....	24
Tabla 4.1.- Indicadores seleccionados para el sector Servicios.....	29
Tabla 4.2.- Determinación de zona climática según grados día.....	33
Tabla 4.3.- Coeficientes de pérdida de calor por zona climática y componente estructural.....	33
Tabla 5.1.- Empresas en las que se aplica la entrevista diseñada.....	36
Tabla 5.2.- Información básica del local de comercio al detalle.....	37
Tabla 5.3.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa.....	37
Tabla 5.4.- Información básica del local de comida rápida.....	37
Tabla 5.5.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa.....	38
Tabla 5.6.- Información básica de la oficina de ingeniería.....	38
Tabla 5.7.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa.....	39
Tabla 6.1.- Parámetros de la instalación fotovoltaica.....	40
Tabla 6.2.- Detalle del consumo eléctrico, comercio al detalle.....	44
Tabla 6.3.- Resumen de consumos eléctricos real y estimado, comercio al detalle.....	45
Tabla 6.4.- Consumo de gas real y estimado, comercio al detalle.....	45
Tabla 6.5.- Indicadores calculados para el comercio al detalle.....	46
Tabla 6.6.- Grados día de enfriamiento y calefacción calculados, local de comida rápida.....	47
Tabla 6.7.- Cálculo de coeficiente de pérdida de calor [W/K].....	47
Tabla 6.8.- Resultados cálculo de consumo eléctrico de AC.....	47
Tabla 6.9.- Detalle del consumo eléctrico, local de comida rápida.....	49
Tabla 6.10.- Resumen de consumos real y estimado, local de comida rápida.....	50
Tabla 6.11.- Indicadores calculados para el local de comida rápida.....	51
Tabla 6.12.- Detalle del consumo eléctrico, oficina de ingeniería.....	53
Tabla 6.13.- Resumen de consumos real y estimado, oficina de ingeniería.....	54
Tabla 6.14.- Indicadores calculados para la oficina de ingeniería.....	55
Tabla 6.15.- Resumen de los resultados obtenidos.....	56

Índice de figuras

Figura 1.1.- Demanda energética SIC y SING, 2000-2030.....	1
Figura 1.2.- Pasos que componen la metodología.....	6
Figura 2.1.- Pirámide de los Indicadores de Eficiencia Energética.....	10
Figura 2.2.- Ejemplo de Benchmarking en una planta	11
Figura 2.3.- Progreso del consumo energético de equipos de refrigeración en EE.UU	12
Figura 3.1.- Empleabilidad por sector.	23
Figura 3.2.- Valor agregado, como porcentaje del PIB, por sector	23
Figura 3.3.- Porcentaje de crecimiento por sector, en relación al valor agregado.....	24
Figura 3.4.- Principales rubros del sector servicios, según tamaño de ventas.....	26
Figura 3.5.- Principales rubros del sector servicios, según cantidad de trabajadores.....	27
Figura 3.6.- Principales rubros del sector servicios, según renta neta informada	27
Figura 6.1.- Generación fotovoltaica mensual	41
Figura 6.2.- Distribución del consumo estimado de equipos eléctricos, comercio al detalle.....	42
Figura 6.3.- Distribución del consumo estimado de gas (GLP)	42
Figura 6.4.- Distribución del consumo energético estimado, comercio al detalle.....	43
Figura 6.5.- Consumo eléctrico mensual, comercio al detalle.....	44
Figura 6.6.- Distribución del consumo eléctrico desagregado, local de comida rápida.	48
Figura 6.7.- Consumo eléctrico mensual, local de comida rápida.....	50
Figura 6.8.- Distribución del consumo eléctrico por periodo, servicios de ingeniería.....	53
Figura 6.9.- Consumo eléctrico mensual, oficina de ingeniería	54

1 Introducción

Para iniciar, se presentan algunos antecedentes generales para poner en contexto este trabajo, y luego se definen las características principales del mismo, como motivación, objetivos, metodología y alcances.

1.1 Antecedentes generales

1.1.1 El contexto en Chile

En los últimos años, en la búsqueda de generar las condiciones adecuadas para alcanzar el desarrollo económico, la actividad productiva en Chile, y con ella la demanda energética, ha ido en aumento. Lejos de cambiar esta tendencia, se proyecta que durante la próxima década la actividad del sector productivo del país siga aumentando, enfrentándonos al desafío de contar con recursos energéticos suficientes para apoyar el ya mencionado crecimiento.

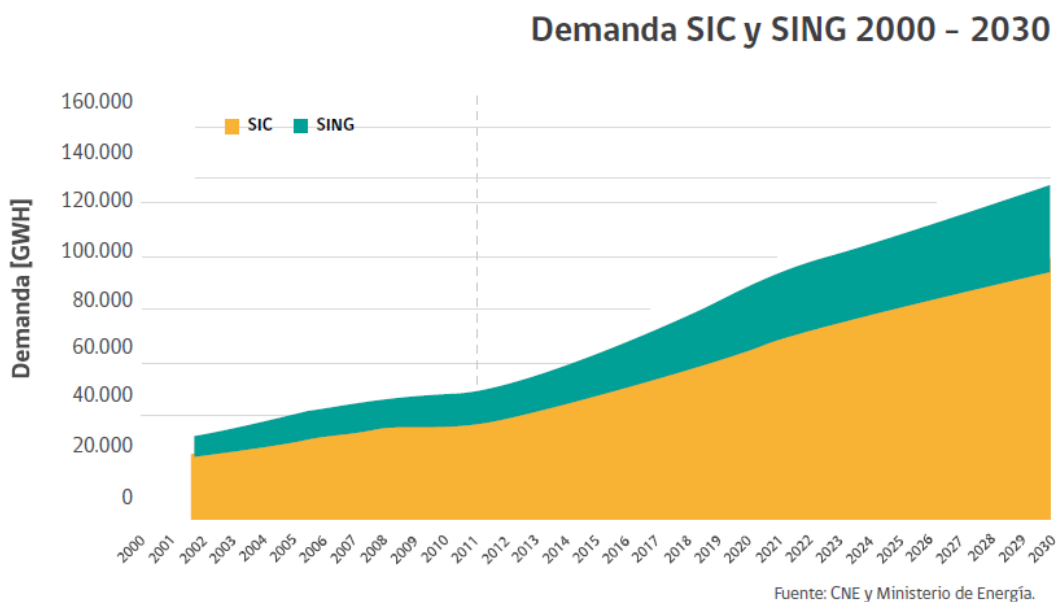


Figura 1.1.- Demanda energética SIC y SING, 2000-2030¹

Si bien Chile fue el primer país en el mundo en privatizar el sector eléctrico, permitiendo multiplicar su capacidad instalada y creando un mercado capaz de abastecer la demanda máxima del sistema, el sector no ha estado libre de problemas.

¹ Fuente: “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030: energía para el futuro”

Situaciones como la sequía de principios de los 90, las restricciones al suministro de gas natural argentino desde el año 2004 y la baja del recurso hídrico de los últimos años, han mostrado las debilidades del marco regulatorio del sector eléctrico, especialmente ante situaciones coyunturales. Frente a tales eventos, el país ha aumentado la generación con centrales operadas en base a carbón y diésel, desarrollando su matriz energética en respuesta a situaciones complejas, en lugar de seguir una planificación estratégica de largo plazo.

La evidente fragilidad del sistema eléctrico, sumada al desafío del crecimiento económico y el consiguiente aumento de la demanda, han dejado de manifiesto la necesidad de generar una política energética con una mirada de largo plazo. Es en este contexto que se ha desarrollado una Estrategia Nacional de Energía (ENE), con el fin de adoptar una posición clara respecto al futuro energético del país, estableciéndose el aumento de la participación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y la Eficiencia Energética (EE) como pilares fundamentales de la política energética de Estado.

Es en este contexto que la Política Energética de Chile fue aprobada por Decreto Supremo N° 148, del 30 de diciembre del 2015, estableciendo el rol articulador del Estado para proponer visiones de desarrollo energético de largo plazo, teniendo 4 pilares, que son:

- Seguridad y calidad de suministro
- Energía como motor de desarrollo
- Energía compatible con el medio ambiente
- Eficiencia y educación energética

El Ministerio de Energía, creado en febrero del año 2010, ha establecido entre sus metas fomentar el uso eficiente de la energía como un recurso energético, a través de la implementación de distintos planes, campañas y programas, así como con una Ley de Eficiencia Energética, estableciendo una meta de ahorro de 20% al año 2025, apuntando a un ahorro total de 20.000 GWh/año, equivalente a 2.000 MW de capacidad instalada a carbón.

Posterior a la creación del Ministerio de Energía, se decide separar las funciones de regulación y ejecución de actividades ligadas a la eficiencia energética, creando la División de Eficiencia Energética (febrero, 2010) y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética o AChEE (noviembre, 2010). Esta última es una fundación de derecho privado, sin fines de lucro, cuya misión es promover, fortalecer y consolidar un uso eficiente de la energía, implementando iniciativas público-privadas. Cabe destacar que el año 2018, la AChEE cambió de nombre, pasando a ser la Agencia de Sostenibilidad Energética, enfocándose no sólo en la implementación de iniciativas de EE, sino también en la Sostenibilidad Energética en su conjunto.

Entre las diversas iniciativas de la cartera de Energía en conjunto con la Agencia de Sostenibilidad Energética, se encuentra el Programa Gestiona Energía MiPyME. Dicho programa nace en el año 2017, buscando generar las condiciones para que las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs) puedan implementar proyectos de eficiencia energética y energías renovables para autoconsumo, con el objetivo de aumentar su productividad y reducir su gasto en energía.

1.1.2 Eficiencia energética

Existen diversas acepciones para este concepto, sin embargo, como no es necesario contar con una definición demasiado exhaustiva, se presenta la definición del *Lawrence Berkeley National Laboratory* que expresa la eficiencia energética como: “utilizar menos energía en la prestación de igual servicio”^{65[1]}.

En los últimos años, con el fin de frenar el cambio climático y dentro del contexto de la transición energética, la eficiencia energética ha ganado una elevada prioridad dentro de la agenda política, encontrándose dentro de los objetivos de desarrollo de prácticamente todos los países del mundo. Tanta es su importancia, que la Agencia Internacional de Energía (AIE) ha elevado su estatus de “combustible oculto” a “nuestro primer combustible”, esperándose que un 40% de la reducción en el uso de energía a futuro, provenga de avances en eficiencia energética.

1.1.3 Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MiPyME)

En Chile el Ministerio de Economía define a las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyMEs) según las ventas anuales en Unidades de Fomento (UF) o, menos frecuentemente, según la cantidad de empleados.

Tabla 1.1.- Clasificación de MiPyMEs según ventas anuales.

Tipo de empresa	Ventas anuales (UF)
Microempresa	0,1 a 2.400
Pequeña empresa	2.401 a 25.000
Mediana empresa	25.001 a 100.000

Tabla 1.2.- Clasificación de MiPyMEs según cantidad de empleados.

Tipo de empresa	Empleados
Microempresa	1 a 9
Pequeña empresa	10 a 49
Mediana empresa	50 a 199

Cabe destacar el importante papel que juegan las MiPyMEs en la economía de todos los países. En particular para el caso de Chile, se tienen las siguientes estadísticas:

- 98% de las empresas de Chile corresponden a MiPyMEs.
- 46% de los empleados dependientes trabajan en MiPyMEs.
- 31% del monto total de remuneraciones a empleados dependientes fueron realizados por MiPyMEs.

Conociendo que entre el 10 y 18% de los costos operacionales de una MiPyME corresponden a gastos en energía, existen diversas instituciones estatales que poseen líneas de financiamiento o cofinanciamiento para proyectos de Eficiencia Energética y Energías Renovables No Convencionales a pequeña escala. Entre los organismos que ofrecen instrumentos de financiamiento, se encuentran los gobiernos regionales, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC), entre otros.

1.1.1 Indicadores

Finalmente, un indicador se define como uno o varios valores estadísticos que en su conjunto generan un indicio^[3]. Estos constituyen herramientas que buscan promover un entendimiento más profundo sobre un problema, evidenciando relaciones valiosas no apreciables con estadística básica, por lo que constituyen herramientas esenciales para dar a conocer a los encargados de políticas y público en general los resultados obtenidos con la aplicación de una cierta medida.

Se encuentra aún abierto el debate respecto a si estos deben necesariamente ser proporciones y valores compuestos, o si se consideran también valores absolutos, como será el caso del presente trabajo. Un ejemplo de valor absoluto que es importante considerar es el consumo total de energía, ya sea por sector, empresa, u otros.

Los indicadores podrán ser expresados tanto en unidades de energía, como en ratios o porcentajes.

1.2 Motivación

Si bien es conocido que no existe una medida exacta para la eficiencia energética, ya en la Cumbre de la Tierra celebrada en 1992 se pide explícitamente a los países, organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales elaborar el concepto de Indicadores de Eficiencia Energética, dando un fuerte impulso a su desarrollo. Diversas organizaciones como las Naciones Unidas y la Unión Europea han respondido al llamado, generando extensas bases de datos que permiten monitorear el desempeño energético de aquellos países que se han encargado de recabar la información necesaria, y es este un trabajo en el que Chile se encuentra aún al debe.

Como ya se mencionó anteriormente, el Ministerio de Energía, en conjunto con la Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE), posee líneas de fomento a la EE, con programas de apoyo a la gestión energética, como lo es el programa “Gestiona Energía MiPyME”. Buscando entregar herramientas de control y gestión para la implementación de estas iniciativas, respondiendo además al llamado a nivel internacional, se seleccionarán y aplicarán Indicadores Energéticos para verificar el desempeño de micro, pequeñas y medianas empresas, en un trabajo de memoria que incluiría una revisión bibliográfica donde se identifiquen trabajos similares realizados a nivel internacional,

la selección de indicadores adecuados a la realidad nacional, su aplicación a casos reales para identificar brechas y barreras en el proceso.

1.3 Objetivos

Los objetivos de esta memoria apuntan a generar herramientas que permitan aumentar el conocimiento respecto al uso de la energía en el sector de las MiPyME en Chile, para así estimular la aplicación de medidas de eficiencia energética en aquellos tópicos donde se puedan generar ahorros más relevantes, que justifiquen de buena manera la inversión de fondos públicos.

A continuación, se presentan dichos objetivos, siendo estos un objetivo general y cuatro objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo general

Seleccionar y aplicar indicadores de competitividad y/o productividad energética aplicables a la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MiPyME), que sirvan de insumo y guía para la toma de decisiones y creación de políticas.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Identificar el estado del arte sobre la materia del diseño de indicadores energéticos para conocer los avances ya realizados a nivel internacional.
- Proponer indicadores energéticos adecuados para la realidad nacional, aplicables al sector de MiPyMEs.
- Evaluar la aplicabilidad de los indicadores seleccionados, dentro de la realidad de las MiPyMEs, utilizándolos en casos reales, con información obtenida de fuentes administrativas y/o encuestas.
- Proponer las mejoras que sean necesarias para la implementación de un sistema de indicadores que puedan ser aplicables al sector MiPyMEs, de manera sostenible y verificable en el tiempo.

1.4 Metodología general

La metodología general de este trabajo de título, se basa en las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE) en su libro “Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos estadísticos”. En la Figura 1.2 se puede observar de manera general los pasos a seguir para lograr los objetivos del trabajo propuesto.

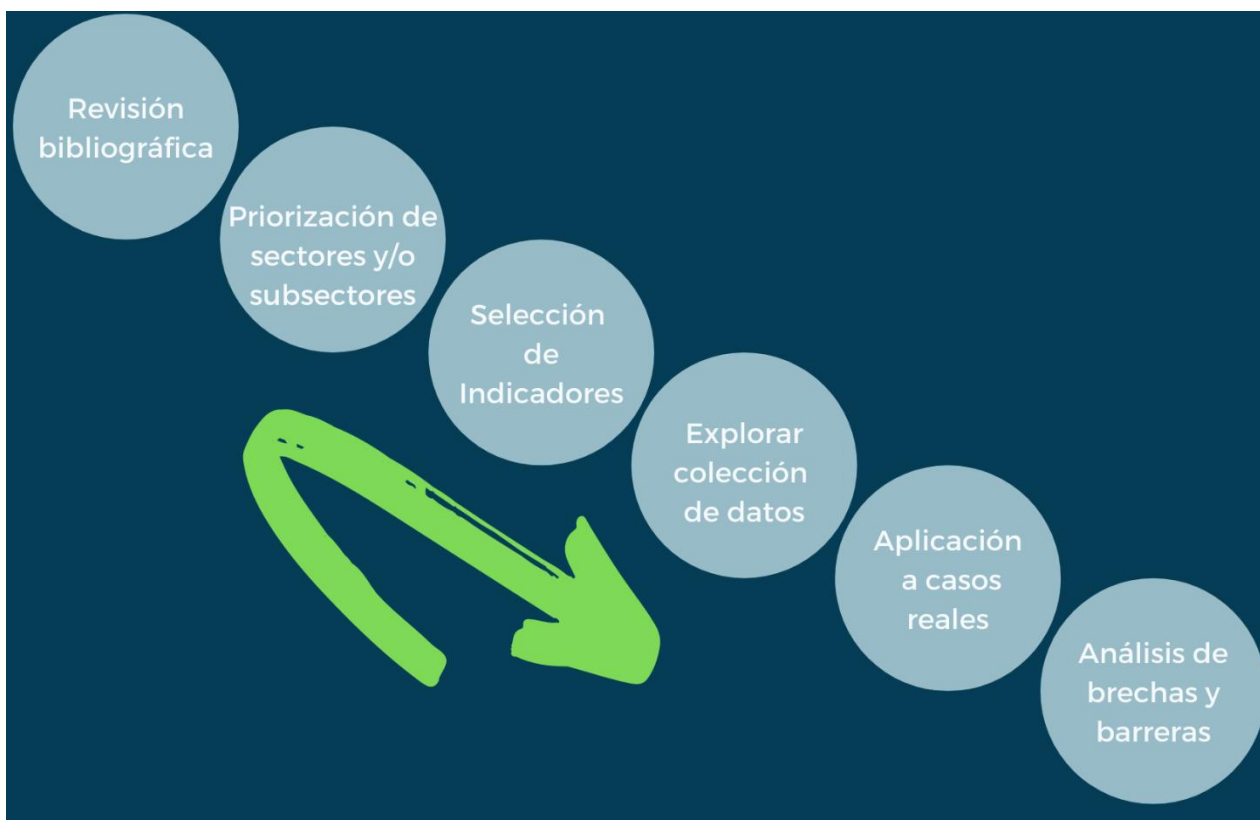


Figura 1.2.- Pasos que componen la metodología

A continuación se describe en detalle cada una de las etapas definidas dentro de la metodología general.

1.4.1 Revisión bibliográfica

Se revisan documentos generados por organismos internacionales para conocer los avances en el diseño e implementación de indicadores de eficiencia energética a nivel global. Esta revisión se enfoca principalmente en publicaciones de la AIE en el contexto de su Proyecto de Indicadores Energéticos, y la experiencia Europea con la base de indicadores Odyssey.

1.4.2 Priorización de sectores y/o subsectores

Debido a la complejidad que significaría generar indicadores a todo nivel, es necesario estudiar en qué sector o subsector es más preeminente realizar este trabajo. Esta decisión se basa en el estudio de participación de mercado, niveles de empleabilidad y remuneraciones a nivel nacional del banco mundial^[17].

1.4.3 Identificar indicadores según factibilidad y relevancia

Habiendo ya determinado el sector con el que se trabajará, se procede a identificar y seleccionar los indicadores energéticos más relevantes para el mismo, observando los usos finales más relevantes y la factibilidad de encontrar información para su cálculo.

1.4.4 Explorar fuentes de información y métodos de colección

En general, para la determinación de indicadores energéticos, se consideran 4 fuentes: administrativas, encuestas, mediciones y modelos^[3]. Para la realización de este trabajo, se consideran sólo los dos primeros; por un lado se considera el uso de información perteneciente al Ministerio de Energía como fuente administrativa, y por otro el diseño de una entrevista.

1.4.5 Aplicación a casos reales

Para verificar la aplicabilidad de los indicadores seleccionados, se busca empresas dispuestas a compartir datos sobre su uso de energía y productividad. Se diseña una entrevista de usos finales para aplicar en visitas a dichas empresas, donde además se hace un catastro de los equipos utilizados, tomando fotos de los mismos y sus placas de información, luego, con esta información se desagrega el consumo energético, procediendo al cálculo de los indicadores anteriormente definidos.

1.4.6 Análisis de brechas y barreras

Una vez aplicados los indicadores a casos reales, se realiza una comparación de los resultados obtenidos con los consumos indicados en las boletas o facturas de compra de energía de cada empresa. Se establece un rango aceptable de error, y se identifican brechas y barreras para la aplicación, tanto en el proceso de recolección de la información, como en el proceso de cálculo de los indicadores mismos.

1.5 Alcances

Este trabajo considera una revisión bibliográfica que permita conocer avances en el tema a nivel nacional e internacional, la selección y/o diseño de indicadores, además de su aplicación a casos reales de empresas catalogadas como MiPyMEs.

Se espera seleccionar un set de indicadores para al menos un sector de las MiPyMEs, información necesaria para el cálculo de cada indicador, dónde encontrar dicha información, o bien cómo colectarla, y la metodología de cálculo misma.

Para la aplicación de los indicadores, y ante la falta de información sistematizada desde fuentes administrativas, se realiza la aplicación de los indicadores desarrollados en 3 empresas clasificadas como MiPyMEs, las que son determinadas en función de la priorización previa, y la disposición existente a compartir su información de consumo energético.

Por último, si bien existen bases de datos que ya cuentan con información de larga data con las que sería posible realizar un estudio comparativo de los valores obtenidos, estas son públicas sólo en niveles de alta agregación, y para conocer los valores de indicadores más específicos, como los que se espera obtener en este trabajo, es necesario pagar sumas que superan los recursos disponibles para este trabajo de memoria. Por ello, la conclusión de este trabajo centra en un análisis de brechas y barreras para la aplicación de los indicadores seleccionados.

2 Antecedentes y revisión bibliográfica

Conocida es ya la necesidad de implementar medidas de eficiencia energética para hacer frente al cambio climático. Sin embargo, una vez aplicadas las mismas, especialmente cuando son financiadas con fondos públicos, es de vital importancia realizar mediciones para monitorear su efectividad y así estimular o no su aplicación en otros casos. Ya en la cumbre de la tierra de 1992, se acuerda el Programa 21, donde se insta a los países y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales a desarrollar el concepto de indicadores de desarrollo energético sostenible, con el fin de monitorear, evaluar, comparar y planear a futuro el consumo energético a nivel global, dando un gran impulso al desarrollo de indicadores energéticos como herramienta de medición de eficiencia energética.

2.1 Indicadores de Eficiencia Energética

Una vez planteada la necesidad de cuantificar la eficiencia obtenida, es posible notar que la eficiencia energética no es una medida absoluta, es decir, no puede ser fácilmente definida como una cantidad determinada, así como tampoco las variaciones de consumo energético son directamente atribuibles a posibles medidas implementadas. Esto, pues los niveles de consumo pueden ser fuertemente influenciados por niveles y condiciones de operación, el estado de los equipos utilizados, e incluso el clima.

2.1.1 Definición matemática

Un indicador de eficiencia energética, es aquel que busca mostrar el consumo energético de una actividad a través de una relación simple. Genéricamente, tienen la forma indicada en la ecuación (1), donde la actividad puede ser representada por diversos parámetros que serán discutidos más adelante.

$$IEE \text{ genérico} = \frac{\text{Consumo energético}}{\text{Actividad}} \quad (1)$$

2.1.2 Caracterización general

Los indicadores son herramientas útiles para el diseño de políticas efectivas, monitorear el progreso de las medidas implementadas y realizar análisis comparativos. Es por esto, que desde principios de la década de los 90, el desarrollo y uso de Indicadores de Eficiencia Energética ha sido

estimulado por diversos organismos internacionales, encontrándose entre las iniciativas más importantes el “Energy Indicators Project” de la AIE, el “Energy Efficiency Indicators and Policies project” del WEC- ADEME, además de algunas iniciativas de la Naciones Unidas, el Banco Mundial y otras organizaciones internacionales.

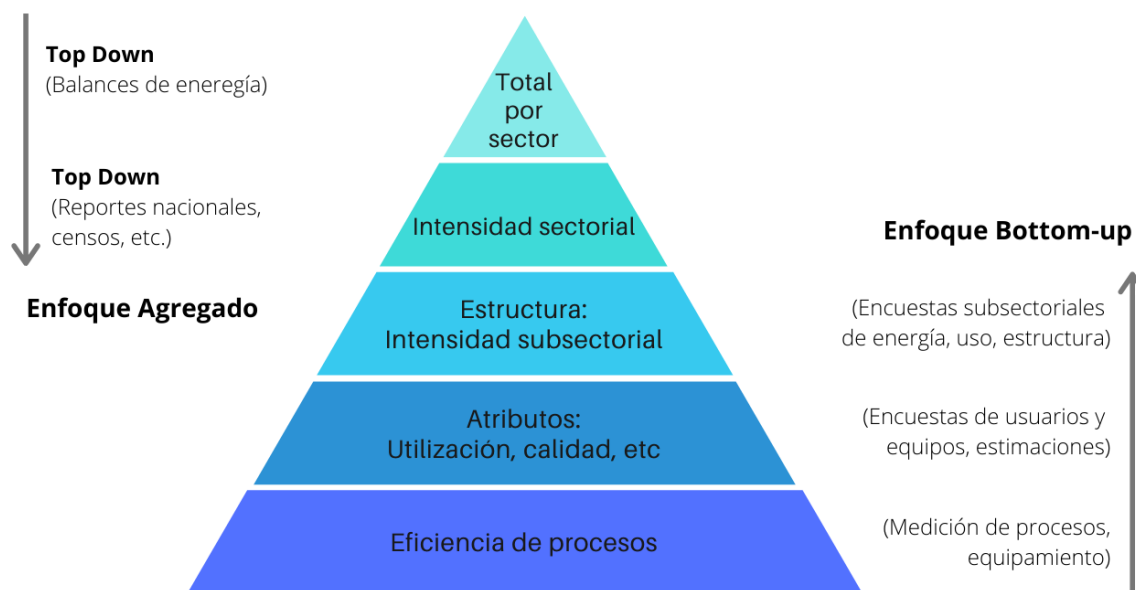


Figura 2.1.- Pirámide de los Indicadores de Eficiencia Energética.

La Figura 2.1 muestra la pirámide de los Indicadores de Eficiencia Energética², donde la punta representa indicadores de alta agregación, usualmente medidos en términos económicos (PIB o valor agregado), mientras que los ubicados en la base corresponden a indicadores desagregados, medidos en términos de niveles de actividad y parámetros físicos, donde los productos, servicios o procesos se encuentran mejor definidos y aislados, por lo que los valores obtenidos son mucho más precisos para estimar la eficiencia energética. Distinto es con los indicadores más agregados de la parte superior, donde el efecto individual de una medida se ve enmascarado por la combinación de factores que pueden incidir en el cálculo.

La pirámide muestra niveles de jerarquía, indicando dos enfoques: bottom-up (base-punta) y top-down o agregado. Este último considera el consumo energético general y a un nivel sectorial, mientras que el bottom-up se basa en información más detallada, y si bien, teóricamente, ambos métodos convergen, el enfoque bottom-up es resultado de una desagregación profunda, conteniendo mucha más información.

Si bien los indicadores desagregados de la base de la pirámide son más apropiados para el estudio de la eficiencia energética, estos requieren de información más específica para su cálculo. En países en vías de desarrollo, como es el caso de Chile, se cuenta usualmente sólo con información para el

² Martin et al., 1997; Worrell et al., 1997; Philipsen et al., 1998; Schipper et al., 1997; APERC, 2001

desarrollo de indicadores del nivel superior, o, en el mejor de los casos, de los dos niveles superiores.

2.1.3 Utilidad de los indicadores

Los indicadores de eficiencia energética pueden ser utilizados para diversas tareas, pero las más relevantes son los análisis comparativos (benchmarking) y monitoreo de progreso.

2.1.3.1 Benchmarking

Los indicadores de eficiencia energética permiten realizar comparaciones de desempeño a nivel internacional, identificando valores de mejores prácticas. Son útiles para mejorar la gestión de los recursos energéticos, permitiendo realizar mediciones comparativas, rastrear cambios a través del tiempo, identificar mejores prácticas y así evaluar los potenciales ahorros energéticos que se puedan alcanzar. Este tipo de análisis comparativo se denomina “benchmarking”.

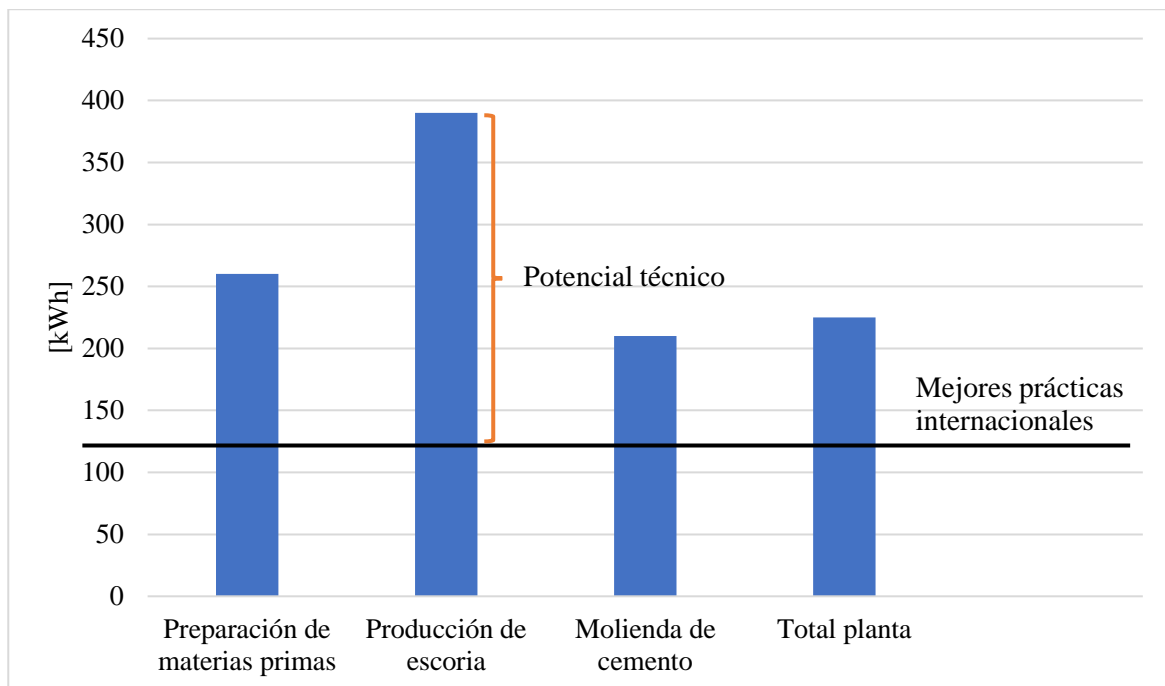


Figura 2.2.- Ejemplo de Benchmarking en una planta ³

³ Fuente: Sathaye, Jayant & Price, Lynn & Mcneil, Michael. (2019). Energy Efficiency Indicators Methodology Booklet.

La Figura 2.2 muestra un ejemplo de benchmarking para una planta de cemento, donde se calcula la intensidad energética por proceso, y se compara con el valor de mejores prácticas internacionales. El consumo energético que excede el valor de mejores prácticas representa el potencial ahorro energético que se podría alcanzar de implementar las mejores prácticas.

2.1.3.2 Diseño de políticas y monitoreo de progresos

Los indicadores son también una buena herramienta para construir estrategias energéticas a nivel nacional, pues dan la posibilidad de comparar diversas políticas y monitorearlas a través del tiempo. Aislar las reducciones en el consumo energético debidas a la aplicación de una medida, de otras influencias externas que puedan estar incidiendo, es de vital importancia para el análisis de políticas que puedan fomentar el uso de una determinada tecnología. Los indicadores ayudan a identificar mejores prácticas, potenciales de mejora y enfoques de políticas apropiadas para alcanzar los mismos.

En la figura se puede ver cómo ha variado el consumo de energía en los equipos de refrigeración en los Estados Unidos desde 1960, gracias a la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética y programas de etiquetado, que han logrado una reducción por sobre el 70% del consumo.

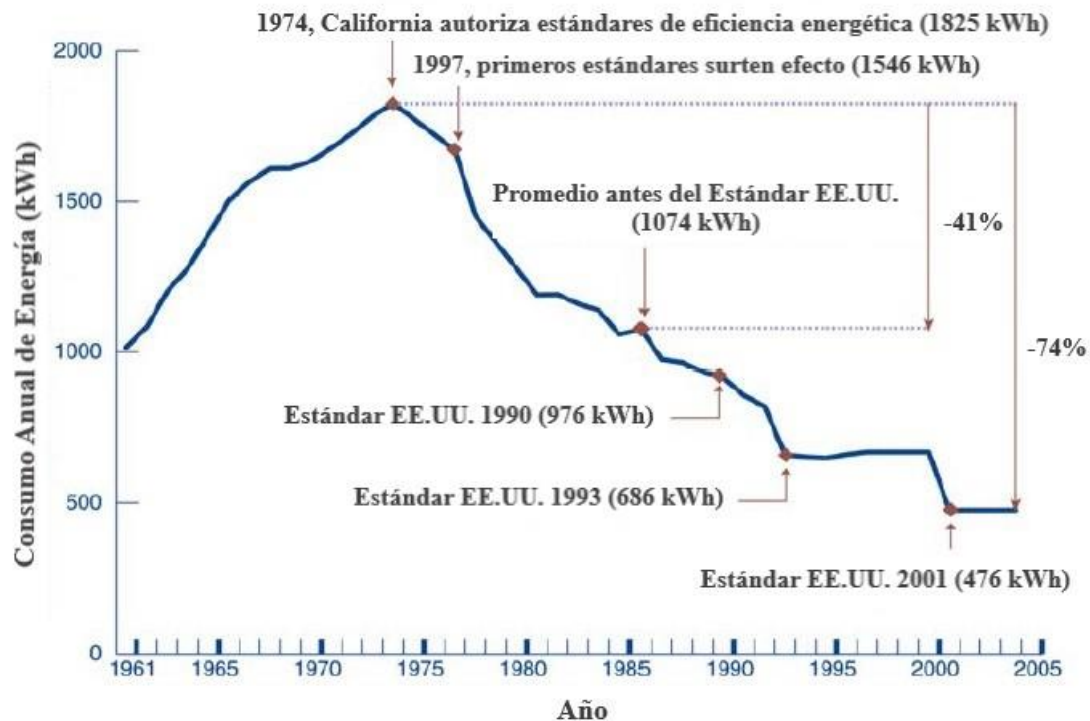


Figura 2.3.- Progreso del consumo energético de equipos de refrigeración en EE.UU

2.2 Indicadores Energéticos de la Agencia Internacional de Energía

Desde 1997 la Agencia Internacional de Energía (AIE), ha diseñado diversos indicadores energéticos para estudiar el comportamiento del consumo energético y las emisiones de CO_2 sus países miembros, manteniendo extensas bases de datos internacionales. En el año 2016, la AIE publica el manual “Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos estadísticos”, cuya finalidad es guiar de forma detallada en el diseño de indicadores.

El manual mencionado hace hincapié en las posibles fuentes de información, dado que la obtención de los datos que permitirán el cálculo es el principal desafío en el diseño de indicadores, desarrollando las ventajas y desventajas de 4 fuentes: fuentes administrativas, encuestas, mediciones y modelización. Incluye además un desglose explicando cómo diseñar indicadores en 4 sectores distintos: residencial, servicios, industrial y transporte, aportando un conjunto de indicadores básicos para cada sector. A continuación se muestra un resumen de los indicadores recomendados en el documento para cada sector.

Tabla 2.2- Indicadores recomendados por AIE para el sector residencial

Sector Residencial					
Uso final	Indicador	Cobertura	Datos energéticos	Datos por actividad	Código
Calefacción	Consumo energético de calefacción por superficie	General	Consumo energético total para la calefacción de locales	Superficie total	H2c
Enfriamiento/AC⁴	Consumo energético para enfriamiento por superficie	General	Consumo energético total para el enfriamiento	Superficie total enfriada	C2b
ACS⁵	Consumo energético para calentamiento de agua por vivienda	General	Consumo energético total para calentamiento de agua	Total de viviendas	W2b
Iluminación	Consumo energético para	General	Consumo energético total para iluminación	Total de viviendas	L2b

⁴ AC: aire acondicionado (del inglés “Air conditioning”)

⁵ ACS: agua caliente sanitaria

	iluminación por vivienda				
Cocción	Consumo energético para la cocción por vivienda	General	Consumo energético total para la cocción	Total de viviendas	K2b
Electrodomésticos	Consumo energético por aparato unitario	Por tipo de aparato	Consumo energético para todo aparato de determinado tipo	Cantidad de electrodomésticos de determinado tipo	A3a

Tabla 2.22.- Indicadores recomendados por AIE para el sector servicios

Sector Servicios					
Uso final	Indicador	Cobertura	Datos energéticos	Datos por actividad	Código
Calefacción	Consumo para calefacción por superficie	General	Consumo energético total para la calefacción de locales	Superficie total	H2b
Enfriamiento/ AC	Consumo energético para enfriamiento por superficie enfriada	General	Consumo energético total para el enfriamiento	Superficie total enfriada	C2b
ACS	Consumo energético para calentamiento de agua por unidad de actividad	Por categoría de servicio	Consumo energético para calentamiento de agua para la categoría de servicio	Unidad de actividad en la categoría de servicio	W3a
Iluminación	Consumo para iluminación por unidad de actividad	Por categoría de servicio	Consumo en iluminación para la categoría de servicio	Unidad de actividad en la categoría de servicio	L3b
Otros equipos	Consumo energético para otros equipos por unidad de actividad	Por categoría de servicio	Consumo energético para otros equipos en la categoría de servicio	Unidad de actividad en la categoría de servicio	E3b

Tabla 2.23.- Indicadores recomendados por AIE para el sector industrial

Sector Industrial					
Uso final	Indicador	Cobertura	Datos energéticos	Datos por actividad	Código
Producción	Consumo energético por unidad de producto físico	Subsector	Consumo energético total del subsector	Producción física por subsector	IS2a

Tabla 2.1.- Indicadores recomendados por AIE para el sector transporte

Sector Transporte					
Uso final	Indicador	Cobertura	Datos energéticos	Datos por actividad	Código
Transporte de pasajeros	Consumo energético del transporte de pasajeros por pasajero-kilómetro	Por modalidad/tipo de vehículo de pasajeros	Consumo energético del transporte de pasajeros por modalidad/tipo de vehículo	Número de pkm ⁶ por modalidad/tipo de vehículo	P3b
Transporte de mercancías	Consumo energético del transporte de mercancías por tonelada-kilómetro	Por modalidad/tipo de vehículo de flete	Consumo energético del transporte de mercancías por modalidad/tipo de vehículo	Número de tkm ⁷ por modalidad/tipo de vehículo	F3b

Como se puede observar, algunos de los indicadores recomendados se encuentran expresados como una razón entre consumo energético y unidad de actividad, esto pues se busca relacionar niveles de productividad con su respectivo gasto energético. A continuación, en la Tabla 2.2, se muestran ejemplos de unidades de actividad para algunas categorías del sector Servicios.

⁶ pkm = pasajero-kilómetro, unidad que representa el transporte de un pasajero, en un determinado medio de transporte, por un kilómetro

⁷ tkm = tonelada-kilómetro, unidad que representa el transporte de una tonelada de bienes, en un determinado medio de transporte, por un kilómetro

Tabla 2.2.- Ejemplos de unidades de actividad para el sector Servicios

Categoría de servicio	Unidad de actividad
Planteles educativos	Número de estudiantes, número de ocupantes
Hospitales	Plazas, número de camas ocupadas
Hoteles	Número de habitaciones, número de noches, número de empleados, superficie
Restaurantes	Número de comidas
Oficinas	Número de empleados, superficie
Locales minoristas	Número de empleados, superficie

En conclusión, el manual define una metodología de trabajo para el desarrollo y/o selección de Indicadores de Eficiencia Energética consistente en 6 pasos:

1. Identificación de sectores y subsectores.
2. Comprender el uso de la energía en cada sector a través de balances de energía.
3. Identificar indicadores adecuados según factibilidad y relevancia.
4. Identificar datos de consumo energético y actividad necesarios.
5. Explorar fuentes de información y métodos de colección.
6. Colección de información.

Cabe destacar que, en México, con el apoyo de la AIE y otras organizaciones internacionales, este trabajo ya ha sido realizado, y los resultados se pueden encontrar en el documento “Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos”. En el mencionado documento se encuentra el estudio de 5 sectores: transporte, industria y sector primario, residencial, generación eléctrica, servicios y comercio, entregando un set de indicadores, con su metodología de cálculo, fuentes de información, resultados obtenidos y recomendaciones en base a los mismos.

2.3 Monitoreo de eficiencia energética en Europa

La Agencia francesa para la Administración del Medio Ambiente y la Energía (ADEME), comenzó a desarrollar en 1992 una base de datos llamada ODYSSEE, con el fin de tener una estructura permanente de monitoreo de logros en Eficiencia Energética a nivel nacional. Hoy en día, la base incluye información de 29 países, con más de 600 indicadores diferentes. Esta organización ha establecido un acuerdo de cooperación con el World Energy Council (WEC) para evaluar tendencias en Eficiencia Energética a nivel mundial, siguiendo la metodología del ODYSSEE con el apoyo de más de 70 países pertenecientes al WEC.

Dada la gran cantidad de países considerados, es difícil contar con información demasiado específica de cada uno de ellos, por lo que los indicadores que pueden ser desarrollados para todos

resultan de un alto nivel de agregación, lo que limita la posibilidad de encontrar tendencias globales o realizar comparaciones entre todos los países.

Los indicadores que componen esta base de datos se dividen en 3 grupos, dependiendo de su rol:

- Indicadores para el monitoreo de tendencias en eficiencia energética
- Indicadores de comparación
- Indicadores de difusión

2.3.1 Indicadores para el monitoreo de tendencias en eficiencia energética

Estos buscan monitorear tendencias en eficiencia energética y disminución de emisiones de CO_2 por país; son indicadores descriptivos y explicativos, divididos en 4 tipos:

- **Intensidades energéticas y CO_2** , relacionan consumos energéticos o emisiones de dióxido de carbono con una actividad en unidades monetarias.
- **Razones técnico-económicas**, relacionan consumos energéticos o emisiones de dióxido de carbono con una actividad en unidades físicas.
- **Índice de progreso en eficiencia energética (ODEX)**, es un indicador definido a nivel de sectores o para el total de la economía, que se obtiene agregando cambios de consumo a un nivel más detallado (por subsectores o usos finales). Este indicador es una mejor alternativa a los indicadores agregados de intensidad energética, medidos en unidades monetarias, para monitorear tendencias por sector, pues estos últimos incluyen muchos factores que no están ligados directamente a la eficiencia energética.
- **Ahorros de energía o CO_2** , muestra las variaciones del índice ODEX, en términos de cantidad de energía ahorrada (Mtoe) o emisiones de dióxido de carbono ahorradas (Mt), en comparación a una situación sin progresos en eficiencia energética.

2.3.2 Indicadores de comparación

Son indicadores para comparar el nivel de desempeño en eficiencia energética de un país con otro, y se dividen en 2 tipos:

- **Indicadores ajustados**, que se ajustan según diferencias estructurales entre países, para permitir comparaciones más precisas entre ellos. Los ajustes corrigen diferencias entre países en cuando a economía, geografía o clima. En general se considera el promedio de la Unión Europea como referencia para los ajustes.
- **Indicadores de metas o benchmarking**, que indican, para un cierto país, la diferencia entre el valor actual de sus indicadores y valores objetivo. Muestran un potencial realista de mejora en eficiencia energética.

2.3.3 Indicadores de difusión

Buscan complementar los indicadores de eficiencia energética ya existentes, midiendo la difusión o penetración alcanzada por tecnologías y prácticas eficientes. Son, en principio, más fáciles de monitorear y actualizar, y se dividen en 3 grupos:

- **Penetración de mercado de tecnologías eficientes**, muestran qué tan vendidas son ciertas tecnologías eficientes, como lámparas de ahorro, electrodomésticos etiquetados con nivel A, etc.
- **Difusión de prácticas de eficiencia energética**, visibilizan qué tan utilizada o aplicada es una práctica de eficiencia energética, por ejemplo: porcentaje de pasajeros que utilizan el transporte público o medios no motorizados.
- **Penetración de mercado de tecnologías renovables de uso final**, indicadores que muestran la participación de mercado de equipos que utilizan energías renovables, como paneles fotovoltaicos, termos solares, entre otros.

2.4 Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible

La Comisión Brundtland define Desarrollo Sostenible como “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad para que futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades”^[6]. Contar con un suministro de energía adecuado y asequible es un factor clave para el desarrollo económico y social de los países, indispensable para aliviar la pobreza, generalizar la protección social y elevar el nivel de vida.

Para alcanzar un desarrollo sostenible, es vital utilizar los recursos de forma eficiente, llevando un control adecuado de las políticas y medidas seleccionadas. La finalidad de los indicadores energéticos es determinar si la actual utilización de la energía es sostenible, abordando, en este caso, tres dimensiones: económica, social y ambiental. Se podrá conocer los progresos realizados, o la falta de ellos, observando la evolución de los valores tomados por los indicadores en el tiempo.

El documento “Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: directrices y metodologías”^[7], presenta un conjunto básico de 30 indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS), con metodologías y directrices para guiar a los encargados de toma de decisiones, analistas de energía y estadísticos, además presenta para cada indicador sus limitaciones, dificultades y restricciones para evitar errores de aplicación.

Los indicadores presentados, según las 3 dimensiones anteriormente mencionadas, corresponden a 4 sociales, 16 económicos y 10 ambientales, divididos en 7 temas y 19 subtemas, sin embargo, dadas las interrelaciones existentes, algunos podrían ser asignados a más de una dimensión.

Este trabajo destaca principalmente por la consideración de la esfera social, tomando en cuenta que el acceso a la energía tiene relación directa con la pobreza, el empleo, la educación, y la salud. En

este sentido, los indicadores presentados se subdividen en 2 temas: Equidad y Salud, y 4 subtemas: Accesibilidad, Asequibilidad, Disparidades y Seguridad. Los indicadores en cuestión se detallan a continuación.

Tabla 2.3.- Indicadores sociales del desarrollo sostenible

Social			
Tema	Subtema	Código	Indicador energético
Equidad	Accesibilidad	SOC1	Porcentaje de hogares (o población) sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales
	Asequibilidad	SOC2	Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad
	Disparidades	SOC3	Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados
Salud	Seguridad	SOC4	Víctimas mortales de accidentes por la energía producida por la cadena de combustibles

Tabla 2.4.- Indicadores económicos del desarrollo sostenible

Económico				
Tema	Subtema	Código	Indicador energético	
Patrones de uso y producción	Uso global	ECO1	Uso de energía <i>per cápita</i>	
	Productividad global	ECO2	Uso de energía por unidad de PIB	
	Eficiencia del suministro	ECO3	Eficiencia de la conversión y distribución de energía	
	Producción		ECO4	Relación reservas/producción
			ECO5	Relación recursos/producción
	Uso final		ECO6	Intensidades energéticas de la industria
			ECO7	Intensidades energéticas del sector agrícola
			ECO8	Intensidades energéticas del sector comercial/de los servicios
			ECO9	Intensidad energética de los hogares
			ECO10	Intensidades energéticas del transporte
	Diversificación (Combinación de combustibles)		ECO11	Porcentajes de combustibles en la energía y electricidad
			ECO12	Porcentaje de energía no basada en el carbono en la energía y electricidad

		ECO13	Porcentaje de energías renovables en la energía y electricidad
	Precios	ECO14	Precios de la energía de uso final por combustible y sector
Seguridad	Importaciones	ECO15	Dependencia de las importaciones netas de energía
	Reservas estratégicas de combustible	ECO16	Reservas de combustibles críticos por consumo del combustible correspondiente

Tabla 2.5.- Indicadores medioambientales del desarrollo sostenible

Medioambiente			
Tema	Subtema	Código	Indicador energético
Atmósfera	Cambio climático	ENV1	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la producción y uso de energía per cápita y por unidad de PIB
	Calidad del aire	ENV2	Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas
		ENV3	Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos
Agua	Calidad del agua	ENV4	Descargas de contaminantes en efluentes líquidos procedentes de los sistemas energéticos, incluidas las descargas de petróleo
Tierra	Calidad de los suelos	ENV5	Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica
	Bosques	ENV6	Tasa de deforestación atribuida al uso de energía
	Generación y gestión de desechos sólidos	ENV7	Relación entre la generación de desechos sólidos y las unidades de energía producida
		ENV8	Relación entre los desechos sólido adecuadamente evacuados y el total de desechos sólidos generados
		ENV9	Relación entre los desechos sólidos radiactivos y las unidades de energía producida
		ENV10	Relación entre los desechos sólidos radiactivos en espera de evacuación y el total de desechos sólidos radiactivos generados

2.5 Errores en la estimación de consumos de energía

El ahorro de energía es un valor que no puede ser medido, sino que es el resultado de una diferencia entre dos estados, por ejemplo, la línea base y el consumo medido después de la aplicación de cierta medida. Sin embargo, modelar el uso de energía de un lugar, ya sea una casa, una empresa, u otro, se basa en información obtenida a través de estimaciones o mediciones, y ambas opciones incorporan cierto grado de error. El principio básico del Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Ahorro Energético (IPMVP)^[8], es que los reportes de ahorro de energía deben ser precisos y correctos, esto quiere decir que un cierto nivel de precisión es requerido al realizar proyectos de medición y verificación.

Un reporte energético, debe incluir declaraciones sobre su posible grado de error, considerando que estos pueden venir de 3 fuentes principales^[9]: errores de modelo, errores de muestreo y errores de medición. Los primeros se asocian a modelar el consumo energético como función de ciertos parámetros que la gobiernan, los segundos con el muestreo de los parámetros a ser medidos, y los último, a errores inducidos por los equipos de medición utilizados.

Existen diversos métodos para chequear la precisión de los modelos utilizados, entre ellos se encuentran el error estándar, el coeficiente de determinación (R^2), test-T o t-student y la incertidumbre, siendo el primero el más común.

Ya varias organizaciones han desarrollado guías y metodologías para establecer medidas de error aceptables, las más reconocidas entre ellas son: el Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Ahorro Energético (IPMVP), la ASHRAE Guideline 14-2014 y el Programa Federal de Manejo de la Energía (FEMP)⁸. A continuación, en la

Tabla 2.6, se muestran los errores definidos como aceptables bajo los criterios anteriormente mencionados.

Tabla 2.6.- Errores considerados aceptables bajo distintos criterios

	ASHRAE Guideline 14	Criterio FEMP	IPMVP
% Error	± 5	± 5	± 20

Como se puede observar, en organismos altamente técnicos como la ASHRAE, la exigencia de precisión es mucho más alta, mientras que en el IPMVP, donde se consideran diversas variables, como la disponibilidad y calidad de la información, además de permitir trazar en precisión dependiendo de los alcances económicos del proyecto evaluado, el rango aceptable es considerablemente más amplio^[10].

⁸ Federal Energy Management Program del Departamento de Energía de Estados Unidos

3 Priorización de sectores y subsectores

De la revisión bibliográfica realizada, se desprende la necesidad de desarrollar indicadores energéticos específicos para 4 sectores: Residencial, Servicios, Industrial y Transporte. Debido al enfoque de este trabajo de título en micro, pequeñas y medianas empresas, el sector residencial es excluido del análisis. A continuación se presentan datos de actividad para realizar una priorización entre sectores y subsectores, y así enfocar los esfuerzos de este trabajo.

3.1 Priorización de sectores

Debido a la complejidad de seleccionar y aplicar indicadores para todos los sectores y sus rubros dentro del acotado plazo de esta memoria de título, es necesario enfocar los esfuerzos realizando una priorización entre sectores.

Como se puede ver en la Figura 3.1, el sector Servicios emplea a más de dos tercios (68%) de la población chilena, siendo seguido por el sector industrial y servicios, sucesivamente. La Figura 3.2 muestra que el sector Servicios es además el de mayor aporte al Producto Interno Bruto (PIB), correspondiente al 57,6% del valor agregado, seguido nuevamente por el sector industrial, que aporta un 30% del PIB, y finalmente por el sector agrícola, con un 3,8%.

Con respecto al crecimiento del aporte por sector al PIB, se puede observar en la Figura 3.3 que nuevamente es el sector Servicios el que lidera, teniendo un crecimiento de 2,7%, seguido esta vez por el sector agricultor, con un crecimiento de 0,3%. Se puede observar también que el sector industrial está sufriendo un decrecimiento, correspondiente al 0,4%.

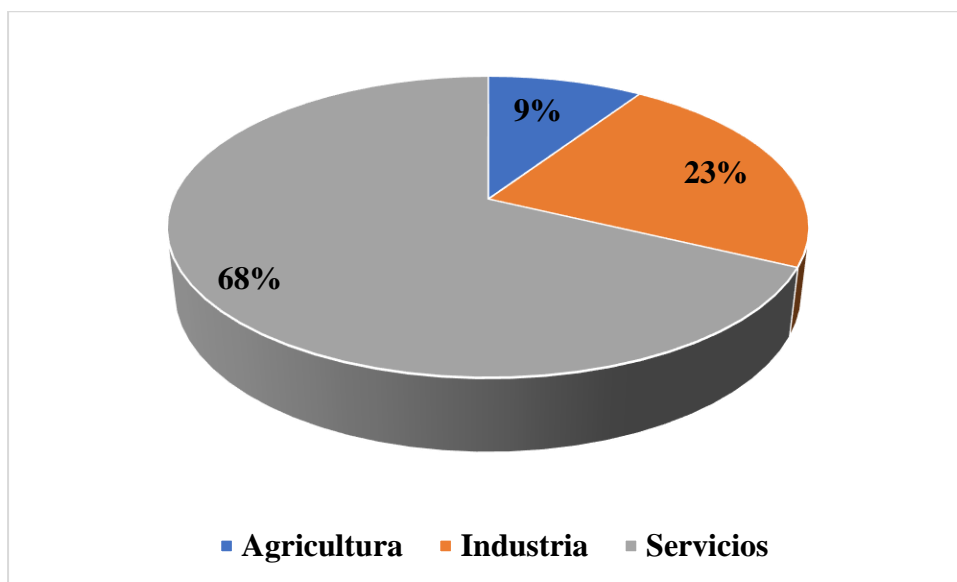


Figura 3.1.- Empleabilidad por sector.⁹

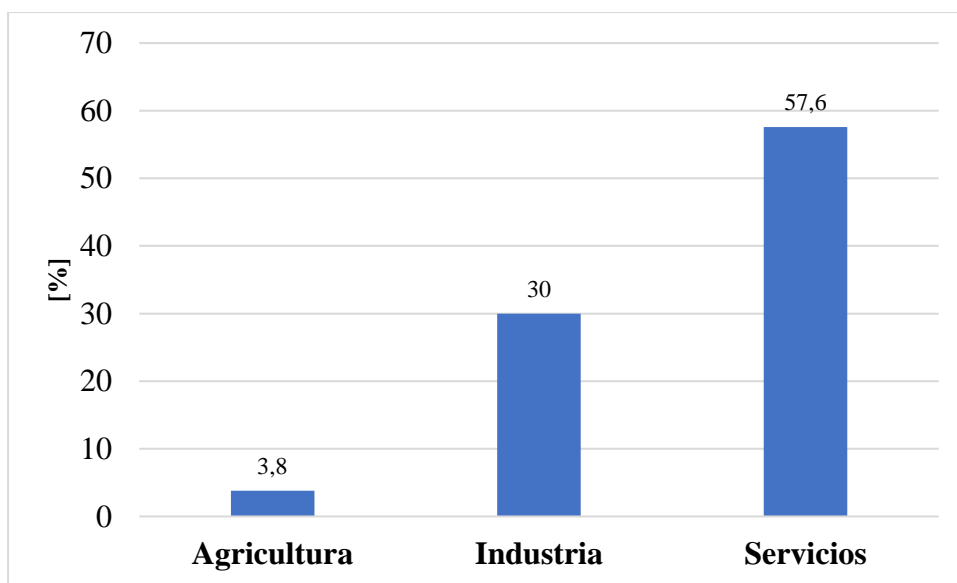


Figura 3.2.- Valor agregado, como porcentaje del PIB, por sector

⁹ Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3 elaboradas en base a información del banco central

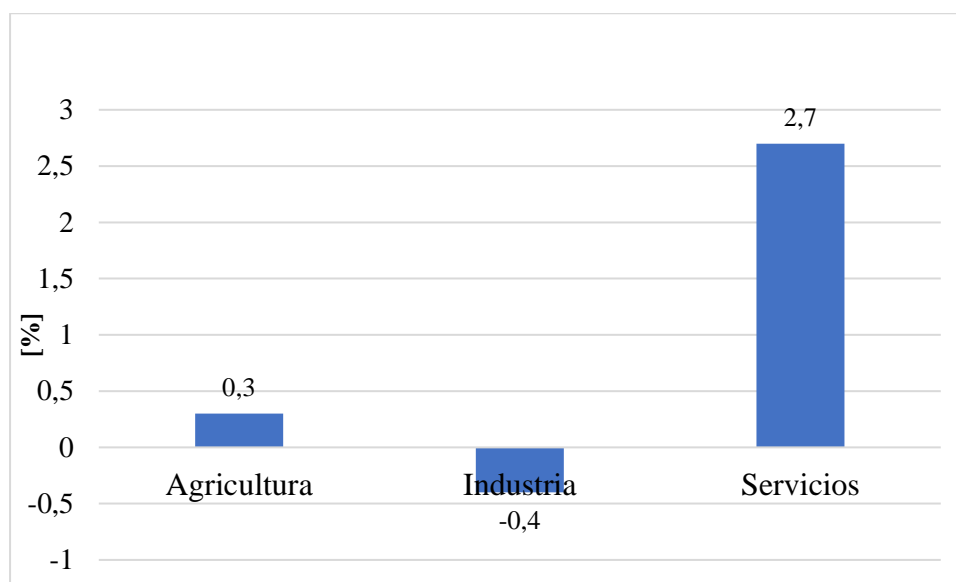


Figura 3.3.- Porcentaje de crecimiento por sector, en relación al valor agregado

3.2 Priorización de subsectores

3.2.1 Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)

Para la categorización de los rubros que componen cada sector, se utilizará la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) actualizada al año 2012, cuyo propósito es ofrecer un conjunto de categorías de actividades que se pueda utilizar para la reunión y difusión de datos estadísticos. Si bien a nivel nacional se han utilizado otras clasificaciones de acuerdo a similitud en el uso de energía, se espera que el uso del estándar internacional ayude a futuro a realizar estudios comparativos de mejores prácticas.

Tabla 3.1.- División de rubros según la CIIU 2012

Sección	Glosa
A	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca
B	Explotación de minas y canteras
C	Industrias manufactureras
D	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
E	Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación
F	Construcción
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas

H	Transporte y almacenamiento
I	Actividades de alojamiento y servicio de comidas
J	Información y comunicaciones
K	Actividades financieras y de seguros
L	Actividades inmobiliarias
M	Actividades profesionales, científicas y técnicas
N	Actividades de servicios administrativos y de apoyo
O	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria
P	Enseñanza
Q	Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social
R	Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas
S	Otras actividades de servicios
T	Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio
U	Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales

3.2.2 Rubros del sector servicios con mayor actividad en Chile

Si bien el objetivo es generar un set de indicadores aplicables a cualquier rubro del sector servicios, es necesario ver cuáles son los rubros más activos en Chile, para enfocar la búsqueda de empresas en las que aplicar los ya mencionados indicadores.

En la Figura 3.4 se muestran los 5 principales rubros del sector servicios en Chile, según tamaño de ventas, en millones de Unidades de Fomento (UF). Como se puede observar, las ventas son lideradas por el rubro del Comercio y reparación de vehículos, con cerca de 1000 millones de UF, seguido por las Actividades profesionales, científicas y técnicas (224 millones de UF), Actividades de servicios administrativos y de apoyo (188 millones de UF), Actividades financieras y de seguros (151 millones de UF) y finalmente se encuentran las Actividades de alojamiento y de servicios de comidas (149 millones de UF).

Con respecto a los niveles de empleabilidad, como se puede observar en la Figura 3.5, es el rubro del Comercio y reparación de vehículos el que cuenta con mayor cantidad de empleados dependientes, con cerca de 520.000 trabajadores, seguidos por 485.229 trabajadores en el rubro de Actividades de servicios administrativos y de apoyo, 263.788 en Enseñanza, 253.832 en Actividades de alojamiento y de servicios de comidas, y 207.489 trabajadores en Actividades profesionales, científicas y técnicas.

Finalmente, en la Figura 3.6 se muestran los principales rubros según renta neta informada, es decir, la suma de las rentas pagadas mensuales, descontadas las cotizaciones previsionales de carácter obligatorio y/o voluntaria, pagadas por el trabajador¹⁰. En este caso, es nuevamente el rubro del comercio y reparación de vehículos el que lidera, con cerca de 70 millones de pesos, seguido por

¹⁰ http://www.sii.cl/sobre_el_sii/estadisticas_de_empresas.html

Administración pública y defensa con 64,6 millones, Enseñanza con 53,8 millones, Actividades profesionales, científicas y técnicas con 50,9 millones, y finalmente las Actividades de servicios administrativos y de apoyo con 43,3 millones.

De a lo anteriormente expuesto, se puede notar la importancia del rubro del comercio, siendo el que lidera tanto en tamaño de ventas, empleabilidad y rentas. Otros dos rubros se encuentran en los 3 casos dentro de los 5 primeros del ranking, estos son el de Actividades profesionales, científicas y técnicas, y las Actividades de servicios administrativos y de apoyo. Otros casos interesantes son los de las Actividades de alojamiento y de servicio de comidas, encontrándose entre los de mayor tamaño de ventas y empleabilidad, y Enseñanza presente entre los de mayor empleabilidad y renta. En consecuencia, en base a lo recientemente expuesto y la respuesta de las empresas contactadas, el resto del trabajo se centra en los sectores Comercio, Actividades profesionales, científicas y técnicas, y Servicio de comidas.

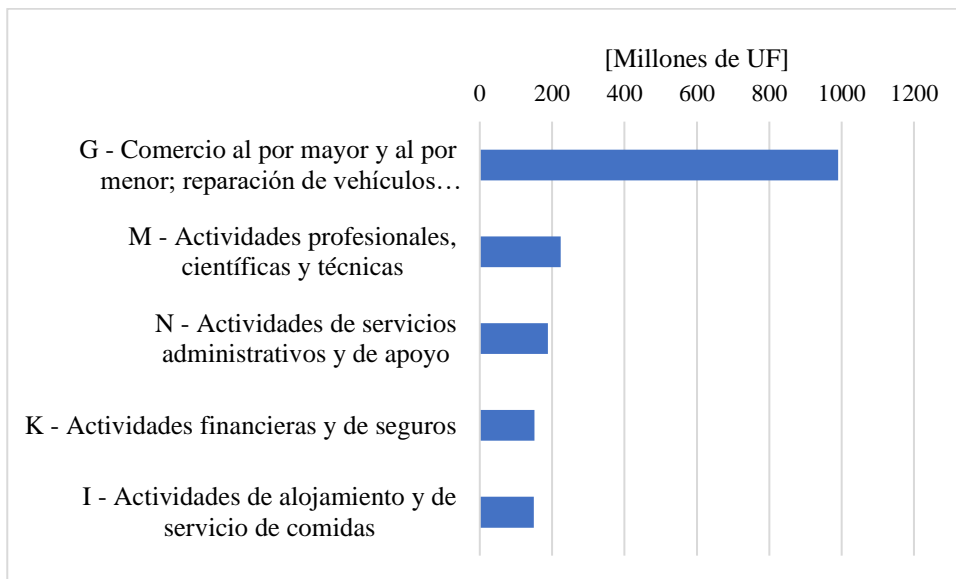


Figura 3.4.- Principales rubros del sector servicios, según tamaño de ventas¹¹

¹¹ Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6 construidas en base a información del SII para el año 2018

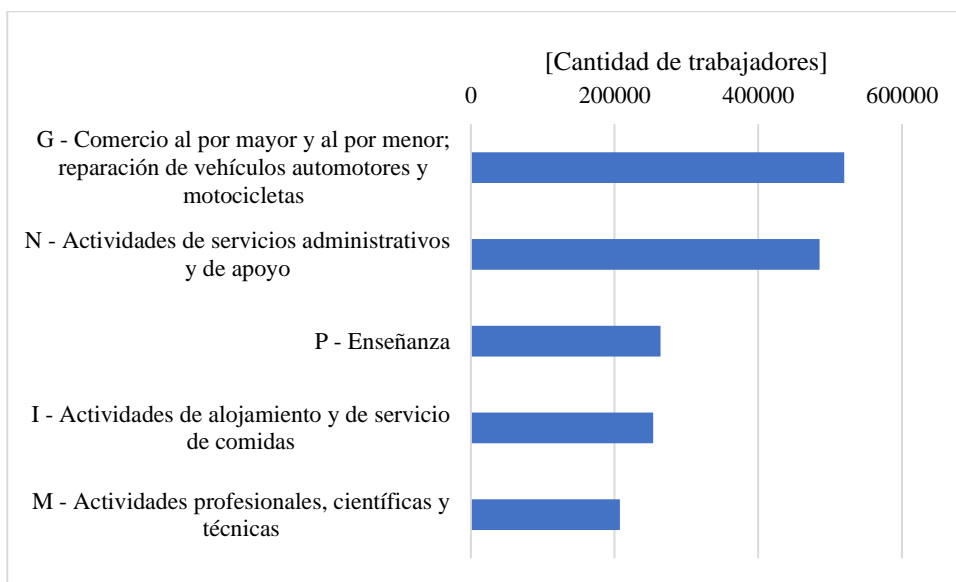


Figura 3.5.- Principales rubros del sector servicios, según cantidad de trabajadores

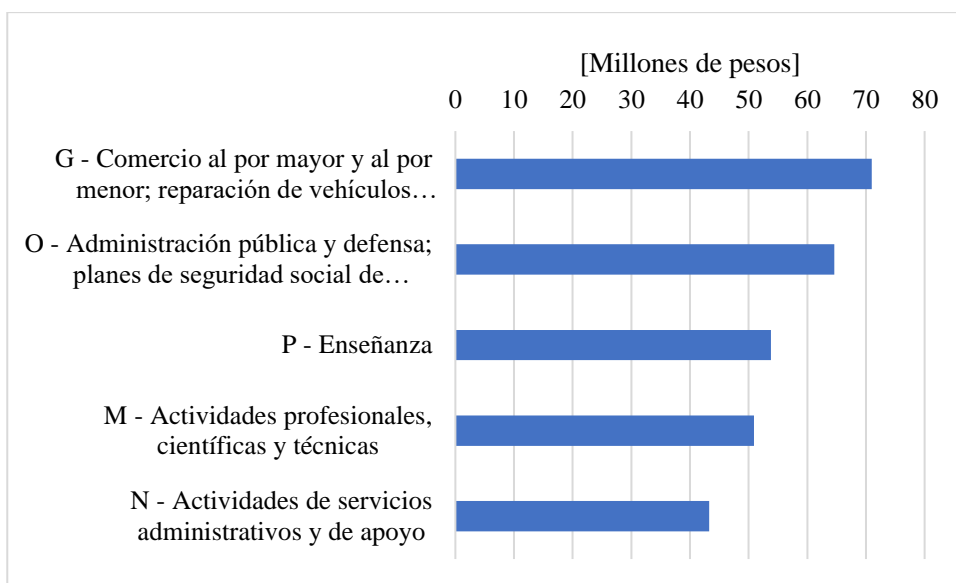


Figura 3.6.- Principales rubros del sector servicios, según renta neta informada

4 Selección de indicadores

En este capítulo se presentan los indicadores seleccionados a partir de las publicaciones de las organizaciones internacionales anteriormente mencionadas, además de su metodología de cálculo y el criterio de evaluación de los errores obtenidos en su aplicación.

4.1 Indicadores seleccionados

Si bien la AIE recomienda, para el sector servicios, el cálculo de indicadores para 5 usos finales: calefacción, enfriamiento, ACS, iluminación y otros equipos, en una MiPyME, otros consumos podrían cobrar mayor importancia. Por ejemplo, en una panadería, el consumo energético de hornos es probablemente el más importante, así como en una heladería los congeladores, o los computadores en una oficina administrativa, y es necesario tomar estas diferencias en consideración.

El programa “Gestiona Energía MiPyMEs”, dentro de su página web, posee una herramienta de cálculo de Potencial de Eficiencia Energética y Energías Renovables, donde se consideran los siguientes usos finales:

- Calefacción
- Equipos de oficina
- Iluminación
- Motores y máquinas
- Refrigeración
- Bombeo de agua
- Otros equipos específicos del sector
- Calderas de vapor y agua para procesos
- Aire acondicionado
- Cocina y secado
- Agua caliente y lavandería
- Transporte

Por estar trabajando dentro del contexto de servicios, se excluirán aquellos usos finales ligados a otros sectores como motores y máquinas, agua caliente para procesos, bombeo de agua y transporte. Además, se dividirán los usos de ACS y lavandería.

Se seleccionan además dos indicadores desde el documento “Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: directrices y metodologías”, que si bien están considerados originalmente para hogares, son fácilmente adaptables a MiPyMEs.

Con esto, en base a las recomendaciones de la AIE, los datos del programa Gestiona Energía MiPyME y los Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible, se seleccionan los siguientes indicadores, con algunas adaptaciones al contexto de las MiPyMEs.

Tabla 4.1.- Indicadores seleccionados para el sector Servicios

Indicador	Fuente	Descripción
Asequibilidad	Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible (SOC2)	Porcentaje de ingresos de la empresa dedicado a combustibles y electricidad
Diversificación	Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible (ECO13)	Porcentaje de energías renovables en la energía utilizada por la empresa
Consumo energético en iluminación por unidad de actividad	AIE - Proyecto de Indicadores Energéticos (L3b)	Ponderación entre energía destinada a iluminación y alguna medida de actividad
Consumo energético en calefacción por unidad de superficie	AIE - Proyecto de Indicadores Energéticos (H2b)	Ponderación entre energía destinada a calefacción y superficie calefaccionada
Consumo energético en enfriamiento/AC por unidad de superficie	AIE - Proyecto de Indicadores Energéticos (C2b)	Ponderación entre energía destinada a enfriamiento/AC y superficie enfriada
Consumo energético en agua caliente sanitaria por unidad de actividad	AIE - Proyecto de Indicadores Energéticos (W3a)	Ponderación entre energía destinada a calentamiento de agua y alguna medida de actividad
Consumo energético en cocina, hornos y secado por unidad de actividad	Adaptación Gestiona energía MiPyMEs	Ponderación entre energía destinada a cocción, hornos y secado, y alguna medida de actividad
Consumo energético en refrigeración por unidad de actividad	Adaptación Gestiona energía MiPyMEs	Ponderación entre energía destinada a refrigeración y alguna medida de actividad
Consumo energético en lavandería por unidad de actividad	Adaptación Gestiona energía MiPyMEs	Ponderación entre energía destinada a lavandería y alguna medida de actividad
Consumo energético en equipos específicos por unidad de actividad	AIE - Proyecto de Indicadores Energéticos (E3b)	Ponderación entre energía destinada a equipos específicos y alguna medida de actividad

Cabe destacar que los indicadores anteriormente presentados, pertenecen al penúltimo nivel de la pirámide de indicadores (Figura 2.1), correspondientes a indicadores de utilización, realizables con estimaciones a partir de encuestas de usuarios y equipos.

4.2 Criterio de evaluación de los errores obtenidos

Como ya se mencionó anteriormente, existen diversos criterios para determinar si una estimación es buena o no. Según el Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Ahorro Energético (IPMVP), los valores estimados deben encontrarse dentro del 20% de error, mientras que el Programa Federal de Manejo de la Energía (FEMP)¹² y la Pauta 14-2014 de la ASHRAE, establecen que los valores se deben encontrar en torno al 5% de error^[15]. En este caso, será este último valor el que prime, considerándose bajos los errores cercanos a 5%, y aceptables, pero sujetos a revisión, aquellos entre 5% y 10%^[14].

4.3 Metodología de cálculo

A continuación, se muestra cómo se calcula cada uno de los indicadores anteriormente señalados.

4.3.1 Asequibilidad (SOC2)

Porcentaje del ingreso de la empresa dedicado a compra de energéticos.

$$\frac{\text{Gasto por compra de energía}}{\text{Ingreso total}} \cdot 100\% \quad (2)$$

4.3.2 Diversificación (ECO13)

Porcentaje de uso de energías renovables.

$$\frac{\text{Consumo de energía de fuentes renovables [kWh]}}{\text{Consumo total de energía[kWh]}} \cdot 100\% \quad (3)$$

4.3.3 Iluminación:

Consumo energético en iluminación por unidad de actividad.

¹² Federal Energy Management Program del Departamento de Energía de Estados Unidos

$$\frac{\text{Consumo energético en iluminación [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (4)$$

$$\text{Consumo energético en iluminación} = \sum_i^n PN_i \cdot t_{u,i} [\text{Wh}] \quad (5)$$

Donde PN_i es la potencia nominal de la luminaria i , medida en watts (W), y $t_{u,i}$ es el tiempo de utilización, medido en horas (h), de dicha luminaria.

4.3.4 Calefacción

Consumo energético en equipos de calefacción por superficie.

$$\frac{\text{Consumo energético en calefacción [kWh]}}{\text{Superficie utilizada [m}^2\text{]}} \quad (6)$$

$$\text{Consumo energético en calefacción} = PN_{\text{calefacción}} \cdot t_{u,c} [\text{kWh}] \quad (7)$$

Donde $PN_{\text{calefacción}}$ es la potencia nominal del equipo de calefacción, medida en kilowatts (kW), y $t_{u,c}$ es el tiempo de utilización del equipo, medido en h.

4.3.5 Enfriamiento/AC

Consumo energético en equipos de enfriamiento o aire acondicionado por superficie.

$$\frac{\text{Consumo energético en enfriamiento/AC [kWh]}}{\text{Superficie utilizada [m}^2\text{]}} \quad (8)$$

$$\text{Consumo energético en enfriamiento} = PN_{\text{enfriamiento}} \cdot t_{u,e} [\text{kWh}] \quad (9)$$

Donde $PN_{\text{enfriamiento}}$ es la potencia nominal del equipo de enfriamiento, medida en kW, y $t_{u,e}$ es el tiempo de utilización del equipo, medido en h.

Para el caso de equipos con termostato, como los equipos de aire acondicionado modernos, el consumo es más complejo de estimar que sólo multiplicar su potencia por el tiempo encendido, pues se regulan de forma diferente, es por esto que para el cálculo del consumo energético anual en enfriamiento, $Q_{c, yr}$ (kWh), en estos casos, se utilizará un modelo basado en grados día^[20].

$$Q_{c, yr} = \frac{K_{tot}}{\eta_l} DD_c(t_{bal})^{13} \quad (10)$$

Donde K_{tot} es el coeficiente de pérdida de calor del edificio, medida en watts por grado kelvin ($\frac{W}{K}$), η_l la eficiencia del sistema de enfriamiento, DD_c son los grados días de enfriamiento en grados kelvin (K), y t_{bal} es la temperatura base para el cálculo de los grados día, en este caso $18,3^\circ C$ ¹⁴.

Para el cálculo de los grados día de enfriamiento, se utiliza la siguiente fórmula:

$$DD_c(t_{bal}) = \sum_{\text{días}} (t_0 - t_{bal})^+ \quad (11)$$

Este cálculo se realiza para los 365 días del año, y t_0 es la temperatura promedio de cada día en grados Celsius ($^\circ C$).

Para el cálculo de los grados día de calefacción (DD_h), se utiliza la fórmula análoga:

$$DD_h(t_{bal}) = \sum_{\text{días}} (t_{bal} - t_0)^+ \quad (12)$$

Para determinar el coeficiente de pérdida de calor de la construcción en estudio, K_{tot} , se utilizan valores estimativos provenientes de un estudio realizado en Japón¹⁷, donde se definen primero 6 zonas climáticas en base a su cantidad de grados día de calefacción anuales, las que se encuentran especificadas en la Tabla 4.2^[19].

¹³ Fuente: ASHRAE Handbook 2001

¹⁴ Temperatura base establecida en el ASHRAE Handbook 2001

¹⁵ Fuente: ASHRAE Handbook 2001

¹⁶ Fuente: ASHRAE Handbook 2001

¹⁷ M.Evans, B.Shui, T.Takagi (NILIM). (2009). Country Report on Building Energy Codes in Japan.

Una vez definidas la zona climática, se tienen valores de coeficiente de pérdida aproximados para cada componente de la estructura climatizada en estudio.

Tabla 4.2.- Determinación de zona climática según grados día

Zona	Grados Día de calefacción (HDD) [°C]
I	HDD 18°C > 3500
II	3000 < HDD 18°C ≤ 3500
III	2500 < HDD 18°C ≤ 3000
IV	1500 < HDD 18°C ≤ 2500
V	500 < HDD 18°C ≤ 1500
VI	HDD 18°C ≤ 500

Tabla 4.3.- Coeficientes de pérdida de calor por zona climática y componente estructural¹⁸

Componente		I	II	III	IV	V	VI
Techo o cielo		0,17	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Paredes		0,35	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Piso	Expuesto a aire abierto	0,24	0,24	0,34	0,34	0,34	-
	Otros	0,34	0,34	0,48	0,48	0,48	-
Periferia de suelos en tierra	Expuesto a aire abierto	0,37	0,37	0,53	0,53	0,53	-
	Otros	0,53	0,53	0,76	0,76	0,76	-

4.3.6 Agua caliente sanitaria (ACS)

Consumo energético para la producción de agua caliente sanitaria por unidad de actividad.

$$\frac{\text{Consumo energético para producción de ACS [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (13)$$

$$\text{Consumo energético para producción de ACS} = PN_{ACS} \cdot t_{u,ACS} \quad (14)$$

Donde PN_{ACS} es la potencia nominal del equipo de calentamiento de agua, medida en kW, y $t_{u,ACS}$ es el tiempo de utilización del mismo, medido en h.

¹⁸ Valores en $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

4.3.7 Cocción, hornos y secado

Consumo energético en equipos de cocción por unidad de actividad.

$$\frac{\text{Consumo energético en cocción [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (15)$$

$$\text{Consumo energético en cocción} = PN_{\text{cocción}} \cdot t_{u,\text{cocción}} \quad (16)$$

Donde $PN_{\text{cocción}}$ es la potencia nominal del equipo de cocción, medida en kW, y $t_{u,\text{cocción}}$ es el tiempo de utilización del mismo, medido en h.

Nota: Para el caso de equipos a gas, como probablemente sean los de ACS y cocción, hornos y secado, de ser necesario calcular el consumo de gas en kilogramos, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo de gas} = \frac{PN}{PCS_{\text{gas}}} \cdot t_u \quad (17)$$

Donde PN es la potencia nominal del equipo, medida en kW, PCS_{gas} es el poder calorífico superior del gas utilizado, medido en $\frac{kWh}{kg}$, y t_u es el tiempo de utilización del equipo, medido en h.

4.3.8 Refrigeración

Consumo energético en equipos de refrigeración por unidad de actividad.

$$\frac{\text{Consumo energético en refrigeración [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (18)$$

$$\text{Consumo energético en refrigeración} = PN_{\text{refrigeración}} \cdot t_{u,r} \quad (19)$$

Donde $PN_{\text{refrigeración}}$ es la potencia nominal del equipo de refrigeración, medida en kW, y $t_{u,r}$ es el tiempo de utilización del mismo, medido en h.

Nota: cabe destacar que el tiempo de funcionamiento de un refrigerador es difícil de determinar, por lo que es complejo estimar su consumo energético. Gracias al Programa de Etiquetado de Artefactos Domésticos de eficiencia energética, es posible conocer el consumo mensual bajo condiciones de uso estandarizadas en equipos modernos. En los casos donde no se cuente con esta información, se supondrá que los equipos de refrigeración funcionan un 33%¹⁹ ²⁰ del tiempo.

4.3.9 Lavandería

Consumo energético en equipos de lavandería por unidad de actividad.

$$\frac{\text{Consumo energético en lavandería [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (20)$$

$$\text{Consumo energético en lavandería} = PN_{\text{lavandería}} \cdot t_{u,l} \text{ [kWh]} \quad (21)$$

Donde $PN_{\text{lavandería}}$ es la potencia nominal del equipo de lavandería, medida en kW, y $t_{u,l}$ es el tiempo de utilización del mismo, medido en h.

4.3.10 Equipos específicos

Consumo energético en equipos específicos del rubro por unidad de actividad.

$$\frac{\text{Consumo energético de equipos específicos [kWh]}}{\text{Unidad de actividad}} \quad (22)$$

$$\text{Consumo energético de equipos específicos} = PN_{ee} \cdot t_{u,ee} \text{ [kWh]} \quad (23)$$

Donde PN_{ee} es la potencia nominal del equipo específico, medida en kW, y $t_{u,ee}$ es el tiempo de utilización del mismo, medido en h.

¹⁹ <https://reductionrevolution.com.au/blogs/news-reviews/fridge-power-consumption>

²⁰ <https://www.energyplanning.org/energy-blog/blog-post/2017/1/5/do-you-know-how-much-your-refrigerator-is-costing-you>

5 Colección de datos

Debido a que la información no se encuentra disponible desde fuentes de información administrativas, se diseña una entrevista a aplicar en empresas dispuestas a compartir información sobre su consumo.

La entrevista diseñada consta de 9 secciones: la primera corresponde a preguntas de información general y para la determinación de los indicadores de asequibilidad y diversificación, y las 8 siguientes a preguntas para determinar el resto de los indicadores energéticos (iluminación, calefacción, enfriamiento, cocina, hornos y secado, ACS, refrigeración, lavandería y otros equipos).

Con respecto a las preguntas para obtener la información que haría posible el cálculo de los indicadores energéticos, las 8 secciones siguen la misma estructura: primero se busca determinar si la empresa cuenta o no con el sistema en cuestión (por ejemplo: calefacción), y luego caracterizar el sistema. Dicha caracterización considera:

- Tipos de equipos
- Energético utilizado
- Potencia nominal de cada equipo
- Cantidad de equipos de cada tipo
- Horas de uso diarias por equipo
- Días a la semana en que se utiliza cada equipo
- Factores de carga

Se logra conseguir 3 empresas dispuestas a compartir sus datos de consumo para el cálculo de indicadores. El detalle de estas se muestra en la tabla

Tabla 5.1.- Empresas en las que se aplica la entrevista diseñada

Empresa	Rubro	Nº empleados
Botillería San Martín	Comercio al detalle	4
Green food	Comida rápida	8
ILFA Comercial Ltda.	Servicios de ingeniería	9

Para obtener la información necesaria para calcular los indicadores seleccionados, se realizan visitas a cada una de las empresas, en las que se hace un catastro de los equipos utilizados, dejando registro fotográfico de los mismos y sus placas de información, de donde posteriormente se obtienen las potencias nominales. Una vez registrados los equipos, se aplica la entrevista preguntando por los tiempos de uso de cada equipo. Además, para contrastar las estimaciones de consumo, se solicitan las boletas o facturas de energía para el periodo de al menos un año.

5.1 Comercio al detalle

Esta empresa posee un local ubicado dentro del terreno de una casa particular, en la comuna de Vallenar, región de Atacama. Se destaca que tanto la vivienda como el local asociado a ella, poseen un solo medidor de consumo eléctrico.

Tabla 5.2.- Información básica del local de comercio al detalle

Parámetro	Valor
Superficie total [m^2]	50
Superficie útil [m^2]	35
Superficie calefaccionada [m^2]	35
Superficie enfriada [m^2]	-
Horas de funcionamiento semanal [h]	88
Cantidad de empleados	4

Tabla 5.3.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa

¿Cuenta con sistema de ...?	Si	No
Energías renovables	X	
Iluminación	X	
Calefacción	X	
Enfriamiento		X
ACS	X	
Cocción, hornos y secado	X	
Refrigeración	X	
Lavandería	X	
Otros equipos		X

5.2 Comida rápida

La empresa posee un local de comida rápida ubicado en el patio de comidas de un centro comercial de la comuna de Peñalolén, en la región Metropolitana. Se destaca que el local posee un medidor de consumo eléctrico independiente.

Tabla 5.4.- Información básica del local de comida rápida

Parámetro	Valor
Superficie total [m^2]	25

Superficie útil [m^2]	25
Superficie calefaccionada [m^2]	-
Superficie enfriada [m^2]	20
Horas de funcionamiento semanal [h]	91
Cantidad de empleados	8

Tabla 5.5.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa

¿Cuenta con sistema de ...?	Si	No
Energías renovables		X
Iluminación	X	
Calefacción		X
Enfriamiento	X	
ACS		X
Cocción, hornos y secado	X	
Refrigeración	X	
Lavandería		X
Otros equipos	X	

5.3 Servicios de ingeniería

Esa empresa posee una oficina dentro de un terreno residencial, junto con un taller y habitaciones para algunos de sus trabajadores, todo asociado a un único medidor de luz, ubicados en la comuna de Lo espejo, en la región Metropolitana.

Tabla 5.6.- Información básica de la oficina de ingeniería

Parámetro	Valor
Superficie total [m^2]	1.000
Superficie útil [m^2]	208
Superficie calefaccionada [m^2]	65
Superficie enfriada [m^2]	130
Horas de funcionamiento semanal [h]	66
Cantidad de empleados	9

Tabla 5.7.- Sistemas considerados para los indicadores presentes en la empresa

¿Cuenta con sistema de ...?	Si	No
Energías renovables		X
Iluminación	X	
Calefacción	X	
Enfriamiento	X	
ACS		X
Cocción, hornos y secado	X	
Refrigeración	X	
Lavandería		X
Otros equipos	X	

6 Resultados y Discusiones

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de los cálculos realizados con la información obtenida de la aplicación de la entrevista diseñada.

Para cada una de las empresas entrevistadas, se estiman los consumos energéticos según usos finales, los que, para conocer si se encuentran dentro de márgenes aceptables, se contrastan con las cuentas de compra de energía de al menos un año.

6.1 Comercio al detalle

6.1.1 Generación fotovoltaica

El local en estudio posee dos paneles fotovoltaicos, de 50 y 75 Watts respectivamente. El sistema en cuestión no posee medidor, y tampoco se conocen sus ángulos característicos, por lo que para estimar la generación fotovoltaica de los paneles instalados, se realizan mediciones²¹ para obtener los parámetros requeridos por la herramienta “Explorador solar”²² del Ministerio de Energía de Chile, los que se muestran en la Tabla 6.1. Los resultados de generación obtenidos, se muestran en la Figura 6.1. Como es de esperar, la generación presenta una marcada estacionalidad, siendo menor en los meses de invierno, debido a una menor incidencia de radiación.

Tabla 6.1.- Parámetros de la instalación fotovoltaica

	Panel 50 W	Panel 75 W
Tipo de arreglo	Fijo inclinado	Fijo inclinado
Ángulo inclinación	55°	60°
Ángulo azimut	40°	40°

²¹ Las mediciones se realizan siguiendo las instrucciones del documento “Modelo de generación fotovoltaica”, disponible en la página web del explorador solar

²² <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

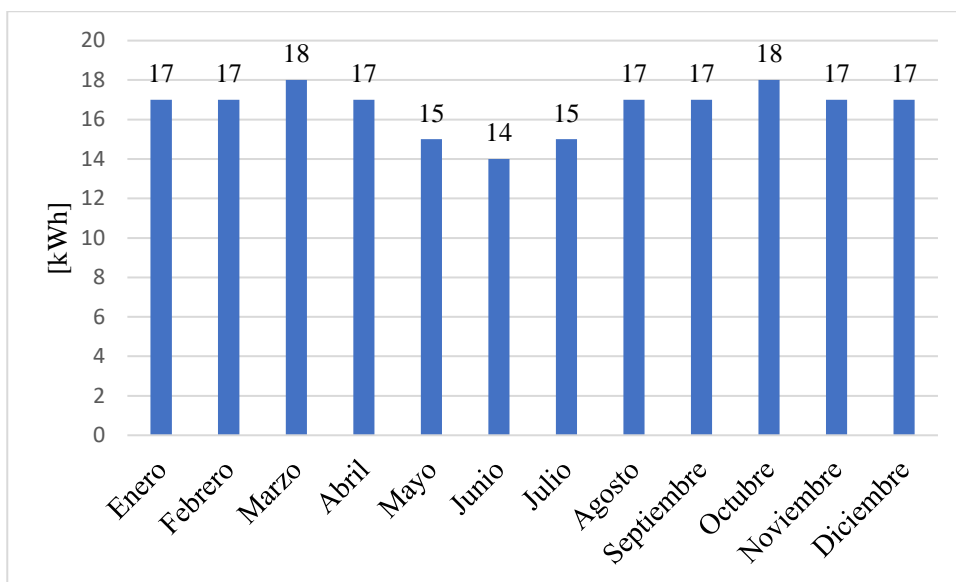


Figura 6.1.- Generación fotovoltaica mensual

6.1.2 Estimación de consumo por usos finales

En esta sección se presentan los resultados obtenidos utilizando las fórmulas indicadas en la metodología de cálculo y la información recopilada a través de la aplicación de la entrevista.

Como se puede ver en la Figura 6.2, en la época otoño/invierno se consideran 5 sistemas consumidores de energía eléctrica, de los cuáles el consumo más importante es presentado por los equipos de Refrigeración (72,3%), seguidos por Iluminación (10,7%), Cocción (7,4%), Calefacción (5,8%) y Lavandería (3,9%). En el periodo primavera/verano, se consideran los mismos sistemas de consumo eléctrico, exceptuando la calefacción, que deja de ser utilizada. Si bien en la época más fría el consumo en refrigeración era ya importante, en la época de calor el consumo alcanza cerca del 90%, siendo seguida en orden decreciente por Cocción (4,6%), Iluminación (3,3%) y Lavandería (2,4%).

La distribución de consumos hace sentido pues los únicos equipos consumidores de electricidad con que cuenta el local, son refrigeradores y congeladores, además de letreos led. El resto de los equipos considerados pertenecen al hogar adyacente donde viven los dueños. Además en la época primavera/verano, aumenta la demanda por bebidas frías, por lo que aumenta el consumo en refrigeración, explicándose la diferencia entre los dos periodos estudiados.

Con respecto al consumo de equipos a gas, la empresa declara que este sería constante a lo largo del año. En la Figura 6.3 se puede observar que el mayor consumo correspondería a Cocción, con un 71,1%, y el 28,9% restante sería dedicado a calentamiento de agua. Se destaca que el uso de equipos a gas en cocción es destinado a alimentación tanto de habitantes del hogar, como de empleados, y el de ACS no es directamente relacionable a la actividad comercial.

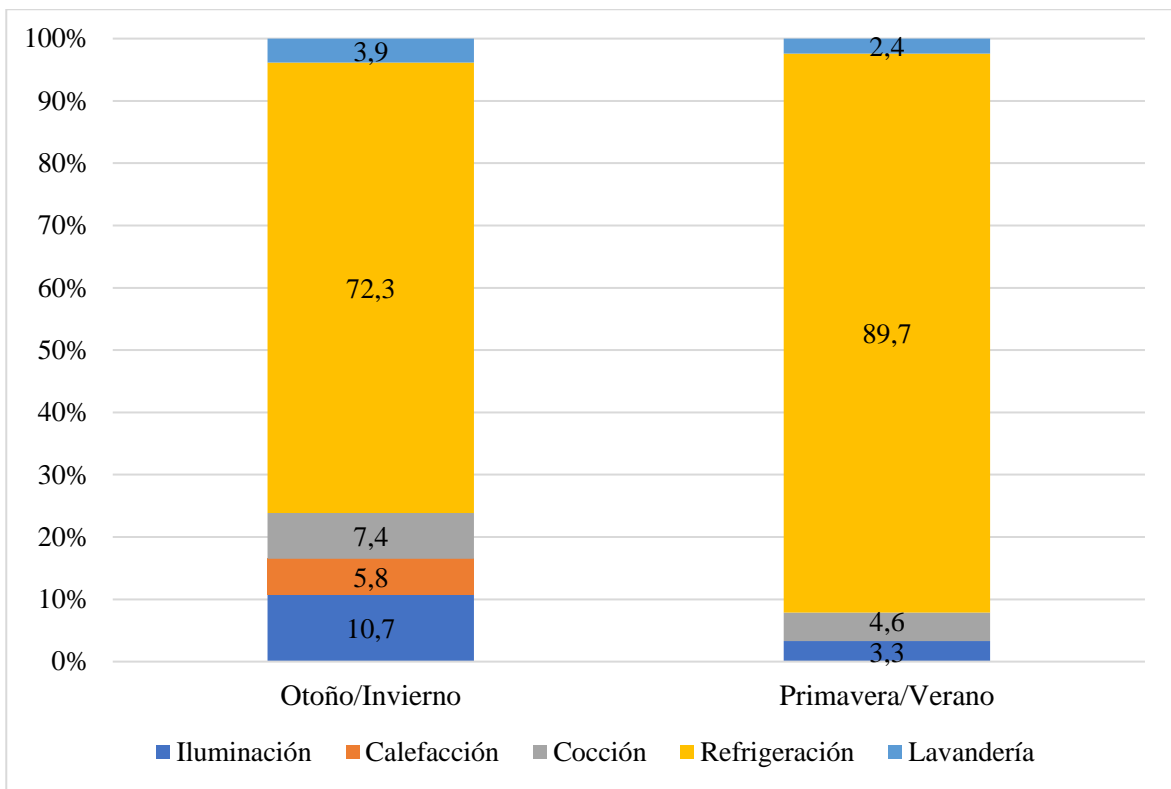


Figura 6.2.- Distribución del consumo estimado de equipos eléctricos, comercio al detalle.

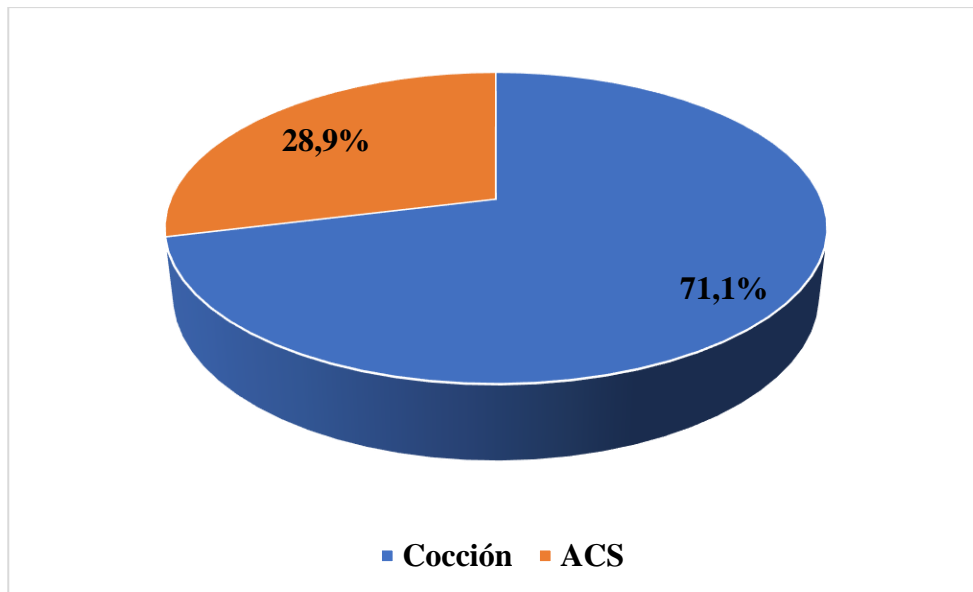


Figura 6.3.- Distribución del consumo estimado de gas (GLP)

La figura que se presentan a continuación considera el total del consumo, considerando tanto equipos eléctricos, como a gas, de forma conjunta.

Para la época otoño/invierno, se puede observar en la Figura 6.4, que más de la mitad de la energía consumida es dedicada a cocción, seguida por el consumo destinado a refrigeración (22,2%), ACS (20%), iluminación (3,3%), calefacción (1,8%) y lavandería (1,2%). Por otro lado, debido al cese en el uso de calefacción, y un aumento en el uso de los equipos de refrigeración, en la época primavera/verano se redistribuyen los consumos. Cocción sigue siendo el uso de mayor consumo (43,4%), seguido ahora más de cerca por refrigeración (37,4%), continuando con ACS (16,8%), iluminación (1,4%) y lavandería (1%).

Es interesante ver que aun cuando no se relaciona directamente con la actividad comercial de la empresa, el consumo en cocción es el más relevante, significando en el periodo otoño/invierno más de la mitad de la energía consumida. Luego, gracias al aumento del uso de equipos de refrigeración, en primavera/verano, los consumos en refrigeración y cocción se acercan, pero se mantiene este último como el más significativo. Esto se explica pues aparte de la alimentación de dueños y empleados, se cocina para otros 7 miembros de la familia.

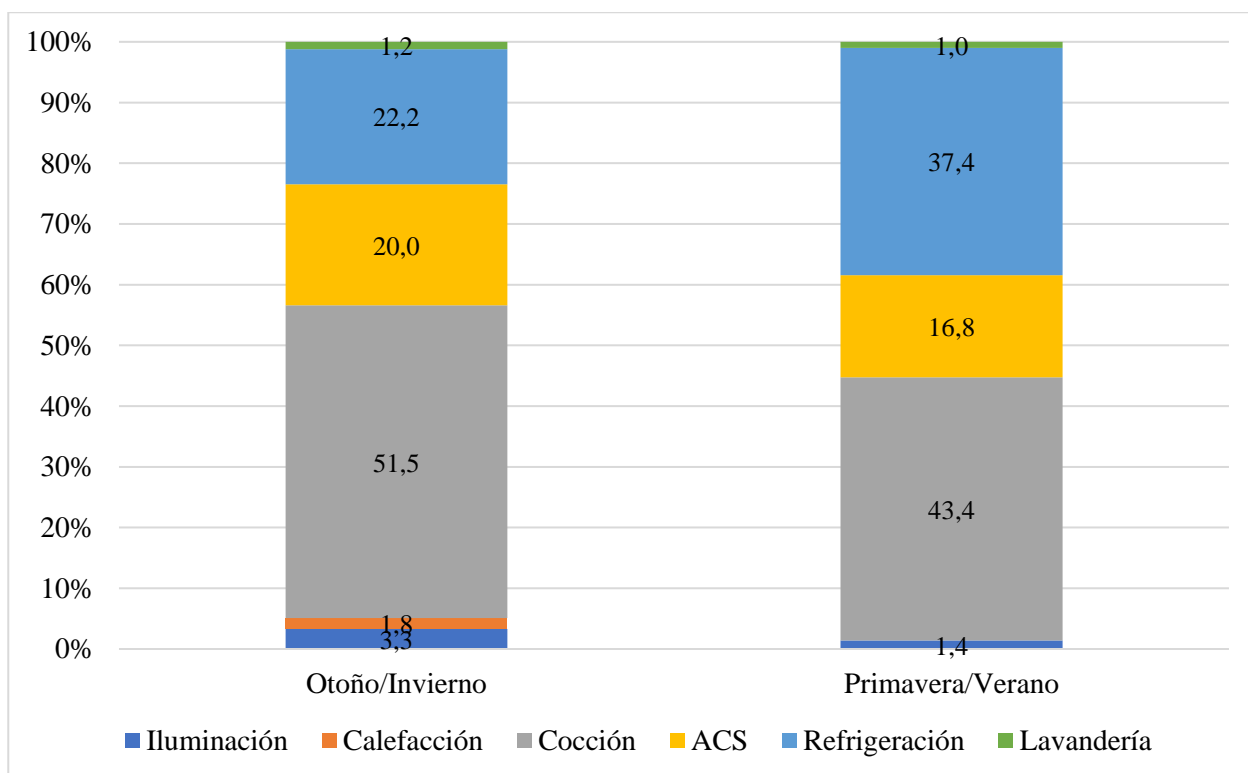


Figura 6.4.- Distribución del consumo energético estimado, comercio al detalle.

En la Tabla 6.2 se muestra un resumen de los consumos eléctricos. La columna de consumo de energía activa es extraída de las boletas de consumo eléctrico, la generación fotovoltaica es la estimada por el explorador solar, y el total corresponde a la suma mes a mes de las dos anteriores. Estos datos se muestran graficados en la Figura 6.5, donde se puede ver claramente la estacionalidad del consumo, donde en verano aumenta considerablemente, lo que es atribuible al aumento de consumo en refrigeración, también reflejado en las estimaciones realizadas.

Tabla 6.2.- Detalle del consumo eléctrico, comercio al detalle

Mes Asociado	Consumo Energía Activa [kWh]	Generación fotovoltaica [kWh]	Total [kWh]
sept-18	537	17	554
oct-18	464	18	482
nov-18	790	17	807
dic-18	789	17	806
ene-19	897	17	914
feb-19	674	17	691
mar-19	532	18	550
abr-19	525	17	542
may-19	365	15	380
jun-19	351	14	365
jul-19	514	15	529
ago-19	416	17	433
Total	6.854	199	7.053

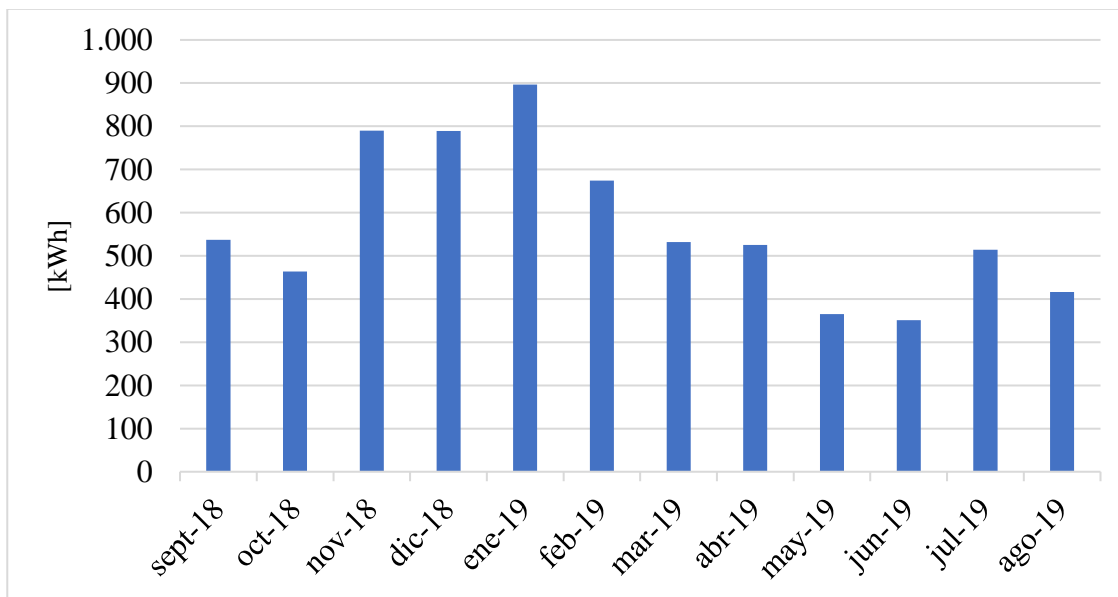


Figura 6.5.- Consumo eléctrico mensual, comercio al detalle

En base a estos valores, se calculan el consumo promedio mensual, el promedio en un mes del periodo otoño/invierno y primavera/verano, los que son utilizados para comparar los consumos estimados en base a la entrevista aplicada. Como se puede observar en la Tabla 6.3, los errores entre valor real y estimado se encuentran dentro de un nivel bajo, siendo todos menores o muy próximos al 5%.

Tabla 6.3.- Resumen de consumos eléctricos real y estimado, comercio al detalle

Consumo	Real [kWh]	Estimado [kWh]	Error [%]
Promedio mensual	587,8	578,8	1,5
Otoño/Invierno	467,2	443,3	5,1
Primavera/Verano	708,3	714,2	0,8

Con respecto al consumo de gas, la empresa declara que este es constante, comprando de manera semanal un balón de gas de 15 [kg]. Como se puede ver en la Tabla 6.4, el error entre el valor estimado y el real, se encuentra por sobre el límite aceptable²³. Si bien esto se podría deber a un error en los tiempos de utilización indicados por los usuarios, estos parecen ser razonables, por lo que posiblemente este error se debe a la simpleza del modelo de estimación utilizado, donde no se considera la cantidad de quemadores en uso, el coeficiente de transferencia de las comidas preparadas y otras variables que influyen en el consumo.

Tabla 6.4.- Consumo de gas real y estimado, comercio al detalle

GLP			
Consumo	Real [kg]	Estimado [kg]	Error [%]
Semanal	15,0	16,6	10,4

6.1.3 Cálculo de indicadores

En base a los consumos estimados, se calculan los indicadores seleccionados, los que son presentados en la Tabla 6.5. Como se puede observar, sólo dos indicadores varían entre periodos: iluminación debido a la menor cantidad de horas de luz en invierno, y refrigeración debido al aumento del uso de equipos en el periodo de más calor.

La unidad de actividad utilizada para el cálculo en este caso, son las horas de funcionamiento del local, pues son aquellas en que operarán los equipos. Podría hacerse un cálculo en base a la cantidad de ventas, sin embargo la empresa no guarda un registro de las mismas.

²³ Para el cálculo se utiliza PCS=12100[kcal/kg] ^[16]

Tabla 6.5.- Indicadores calculados para el comercio al detalle

Indicador	Valor		Unidad
	Otoño/Invierno	Primavera/Verano	
Asequibilidad	30		%
Diversificación	2,8		%
Consumo energético en iluminación por unidad de actividad	0,126	0,063	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en calefacción por unidad de superficie	0,734	No aplica	$\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
Consumo energético en enfriamiento/AC por unidad de superficie	No aplica		
Consumo energético en agua caliente sanitaria por unidad de actividad	0,764	0,764	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en cocina, hornos y secado por unidad de actividad	1,969	1,969	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en refrigeración por unidad de actividad	0,851	1,701	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en lavandería por unidad de actividad	0,045	0,045	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en equipos específicos por unidad de actividad	No aplica		

6.2 Comida rápida

El local en estudio cuenta sólo con equipos eléctricos, por lo que los cálculos, en general, se realizan simplemente multiplicando la potencia nominal de los mismos por sus horas de utilización, sin embargo, poseen un equipo de acondicionamiento de aire con termostato, para el cual se realiza una estimación de consumo en base a grados día.

6.2.1 Cálculo consumo aire acondicionado

A partir de las temperaturas promedio diarias de la estación meteorológica Eulogio Sánchez, Tobalaba Ad.²⁴, se calculan los grados día de calefacción y enfriamiento para los años 2017 y 2018. Los grados día de calefacción se calculan utilizando 18°C como temperatura base, pues así se requiere para determinar la zona climática según la Tabla 4.2, y los grados día de enfriamiento se calculan utilizando como temperatura base 18,3°C, pues así se necesita para utilizar la ecuación (10) del modelo de la ASHRAE.

Tabla 6.6.- Grados día de enfriamiento y calefacción calculados, local de comida rápida

	HDD (18°C)	CDD (18,3°C)
2017	1.583,5	368,3
2018	1.447,1	278,3
Promedio	1.515,3	323,3

En base a los resultados expuestos en la Tabla 6.6, el local se encontraría emplazado en una zona climática tipo IV, con lo que el coeficiente de pérdida de calor K_{tot} , sería el mostrado como resultado en la Tabla 6.7. Ya determinados los valores necesarios para el cálculo, y utilizando una eficiencia típica para el equipo de 90%, se obtiene el consumo anual, el cual se divide por la cantidad de meses que la empresa declara utilizarlo, para así obtener un estimado del consumo mensual.

Tabla 6.7.- Cálculo de coeficiente de pérdida de calor [W/K]

Componente	Superficie [m²]	Coeficiente [W/K]
Techo	20	4,8
Paredes	45	23,85
Piso	20	9,6
	K_{tot}	38,25

Tabla 6.8.- Resultados cálculo de consumo eléctrico de AC

Consumo anual [kWh]	329,77
Meses de uso en el año	4
Consumo mensual [kWh]	82,44

²⁴ Información obtenida desde la página web de la Dirección Meteorológica de Chile <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/productos/RE2005>

6.2.2 Estimación de consumo por usos finales

En esta sección se presentan de forma general los resultados obtenidos en cuanto a distribución del consumo para el local de comida rápida.

Como se puede ver en la Figura 6.6, para la época otoño/invierno, se consideran 4 sistemas, de los que aquel de mayor consumo es el de cocción, con un 58,6%, seguido por los equipos de refrigeración (34,9%), iluminación (6,3%) y finalmente otros equipos (0,2%).

Luego, al considerar la época primavera/verano, se incluye el uso de aire acondicionado. Con esto, se mantienen cocción (56,5%), refrigeración (34,4%) e iluminación (6,2%) como los mayores consumos, seguidos por aire acondicionado (2,8%) y otros equipos (0,2%).

Se puede observar que tanto en el periodo otoño/invierno, como primavera/verano, la distribución de los consumos es muy similar, sólo agregándose el uso de aire acondicionado en la época de calor. Esto se podría atribuir al emplazamiento del local dentro de un ambiente controlado como lo es un centro comercial con climatización centralizada.

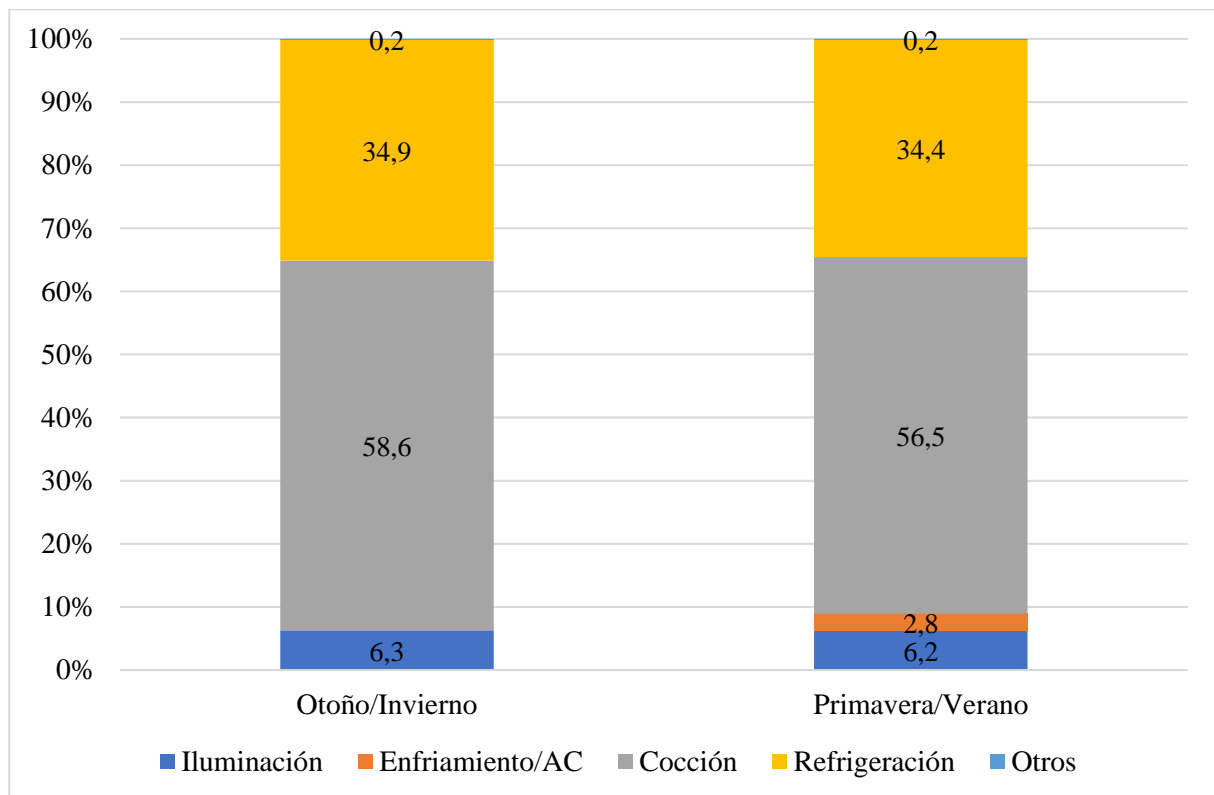


Figura 6.6.- Distribución del consumo eléctrico desagregado, local de comida rápida.

En la Tabla 6.9 se presenta el detalle de los consumos eléctricos de la empresa para un año completo, extraídos desde las facturas de suministro. Con estos datos, se calcula el consumo promedio mensual, y para un mes tipo de los periodos otoño/invierno y primavera/verano.

Los datos de consumo se grafican además en la Figura 6.7, donde se puede observar algo de estacionalidad, con un aumento del consumo en verano, pero como se puede ver en la Figura 6.6, fuera del uso de aire acondicionado en el periodo primavera/verano, que no alcanza a justificar el aumento observado en las cuentas de electricidad, la estructura del consumo se mantiene relativamente constante. Esto quizá se podría atribuir a un aumento en la productividad durante el periodo en cuestión, pero por falta de información, es imposible verificar esta hipótesis.

Tabla 6.9.- Detalle del consumo eléctrico, local de comida rápida

Mes Asociado	Consumo Energía Activa [kWh]
jul-18	2.502
ago-18	2.659
sept-18	2.227
oct-18	2.409
nov-18	3.463
dic-18	3.126
ene-19	3.195
feb-19	3.264
mar-19	2.819
abr-19	2.687
may-19	3.170
jun-19	2.675
jul-19	2.716
Total anual	34.410

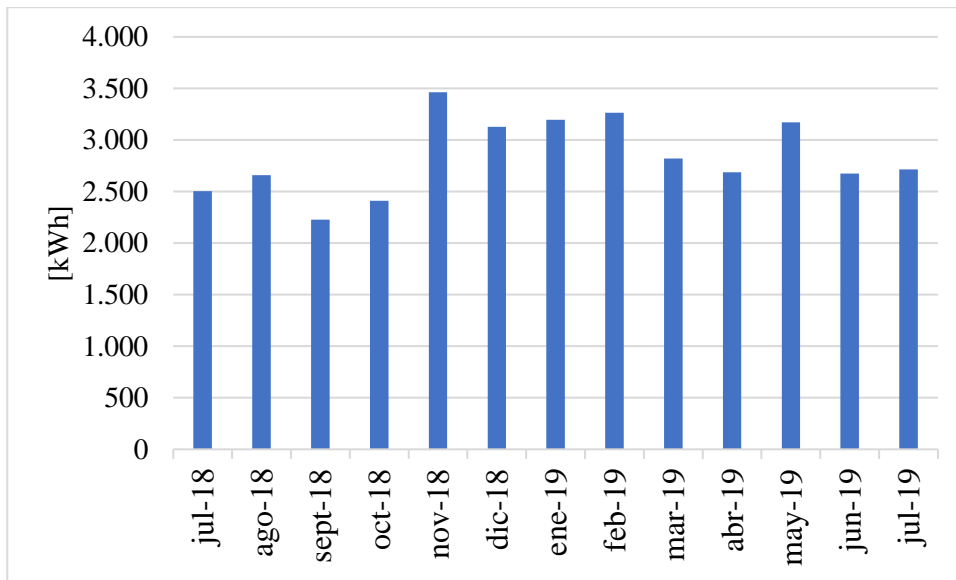


Figura 6.7.- Consumo eléctrico mensual, local de comida rápida

Como se puede observar en la Tabla 6.10, el porcentaje de error entre los consumos estimados y el real es bajo para los casos de promedio anual y temporada primavera/verano, y se encuentra en el límite sobre lo aceptable para el caso de la temporada otoño/invierno.

La única diferencia declarada por la empresa entre ambos periodos, es el uso de aire acondicionado en primavera/verano, y el mayor uso de una máquina expendedora de café en otoño/invierno, por lo que una posibilidad es que exista una menor productividad, y por tanto menor utilización de algunos equipos, en el periodo sobreestimado, o bien la magnitud de este error se podría explicar por una deficiencia del sistema de climatización centralizado del centro comercial, donde efectivamente las temperaturas sean menores en otoño/invierno, generando un menor consumo en refrigeración, no considerado por el modelo de cálculo utilizado y que si podría ser considerado por otro tipo de modelo basado, por ejemplo, en grados día.

Tabla 6.10.- Resumen de consumos real y estimado, local de comida rápida

Consumo	Real [kWh]	Estimado [kWh]	Error [%]
Promedio mensual	2.839,4	2.955,4	4,09
Otoño/Invierno	2.662,3	2.932,9	10,17
Primavera/Verano	3.046	2.977,9	2,24

6.2.3 Cálculo de indicadores

A partir de la información recabada con la entrevista aplicada y las estimaciones de consumo por usos finales, se calculan los indicadores seleccionados, que se presentan a continuación en la Tabla 6.11. Como se puede observar, sólo uno de los indicadores varía entre un período y otro, y es el de consumo en cocina, hornos y secado, debido al mayor uso de una máquina expendedora de café, declarado en otoño/invierno.

La unidad de actividad utilizada para el cálculo en este caso, al igual que en el anterior, son las horas de funcionamiento del local. En este caso sería más apropiado realizar el cálculo en base a la cantidad de comidas vendidas, sin embargo la empresa, a pesar de tener un registro detallado de las mismas, decidió no compartir dicha información.

Cabe destacar que debido a la sobreestimación del consumo en el periodo otoño/invierno, sus indicadores asociados no son lo suficientemente confiables, pudiendo ser todos un poco menores, o bien alguno de ellos, por ejemplo el de refrigeración, considerablemente menor.

Tabla 6.11.- Indicadores calculados para el local de comida rápida

Indicador	Valor		Unidad
	Otoño/Invierno	Primavera/Verano	
Asequibilidad	11-20		%
Diversificación	0		%
Consumo energético en iluminación por unidad de actividad	0,473	0,473	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en calefacción por unidad de superficie	No aplica		$\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
Consumo energético en enfriamiento/AC por unidad de superficie	No aplica	4,122	$\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
Consumo energético en agua caliente sanitaria por unidad de actividad	No aplica		$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en cocina, hornos y secado por unidad de actividad	4,414	4,318	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en refrigeración por unidad de actividad	2,629	2,629	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
Consumo energético en lavandería por unidad de actividad	No aplica		$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$

Consumo energético en equipos específicos por unidad de actividad	0,015	0,015	$\left[\frac{kWh}{h_{funcionamiento}} \right]$
--	-------	-------	---

6.3 Servicios de ingeniería

La oficina de ingeniería en estudio, posee además un pequeño taller de manufactura de piezas de piping, una casa y habitaciones para sus trabajadores, con todos los consumos asociados a un único medidor de electricidad. La empresa cuenta con sistemas de iluminación, calefacción, cocción, refrigeración, otros equipos, y por poseer habitaciones asociadas, también lavandería. Cabe destacar que todos los equipos utilizados funcionan en base a electricidad.

Dentro de la clasificación “otros equipos”, se encuentra equipos de alta potencia del taller de manufactura como tornos, taladros y lijadoras.

6.3.1 Estimación de consumo por usos finales

Como se puede observar en la Figura 6.8, durante el otoño, la mayor parte de la energía es utilizada en Otros equipos (41,3%), seguido por Calefacción (22,5%), Iluminación (22,3%), Refrigeración (8,7%) y finalmente Lavandería (0,4%).

Durante el invierno se encuentran operando los mismos sistemas, pero se observa un aumento en el consumo por Calefacción, que ahora alcanza un 32,2%, acercándose al consumo de 36,1% de Otros equipos. Nuevamente les siguen Iluminación (19,5%), Refrigeración (7,6%), Cocción (4,2%) y Lavandería (0,4%), que no presentan variaciones de magnitud.

En la época de primavera, se detiene el uso de calefacción, iniciando el uso de equipos de enfriamiento como ventiladores, además de disminuir levemente el uso de algunos equipos en el taller. Con esto, el máximo consumo sigue encontrándose en Otros equipos (53,5%), siendo seguidos por el consumo en Iluminación (24,6%), Refrigeración (13,4%), Cocción (7,5%), Lavandería (0,7%) y Enfriamiento (0,5%).

En verano, disminuye el uso de Otros equipos debido a la disminución de proyectos, y aumenta el consumo en equipos de enfriamiento. Como se puede observar, el mayor consumo sigue siendo en Otros equipos (43,3%), seguido por Iluminación (22,2%), Enfriamiento (14,6%), Refrigeración (12,7%), Cocción (6,8%) y Lavandería (0,6%).

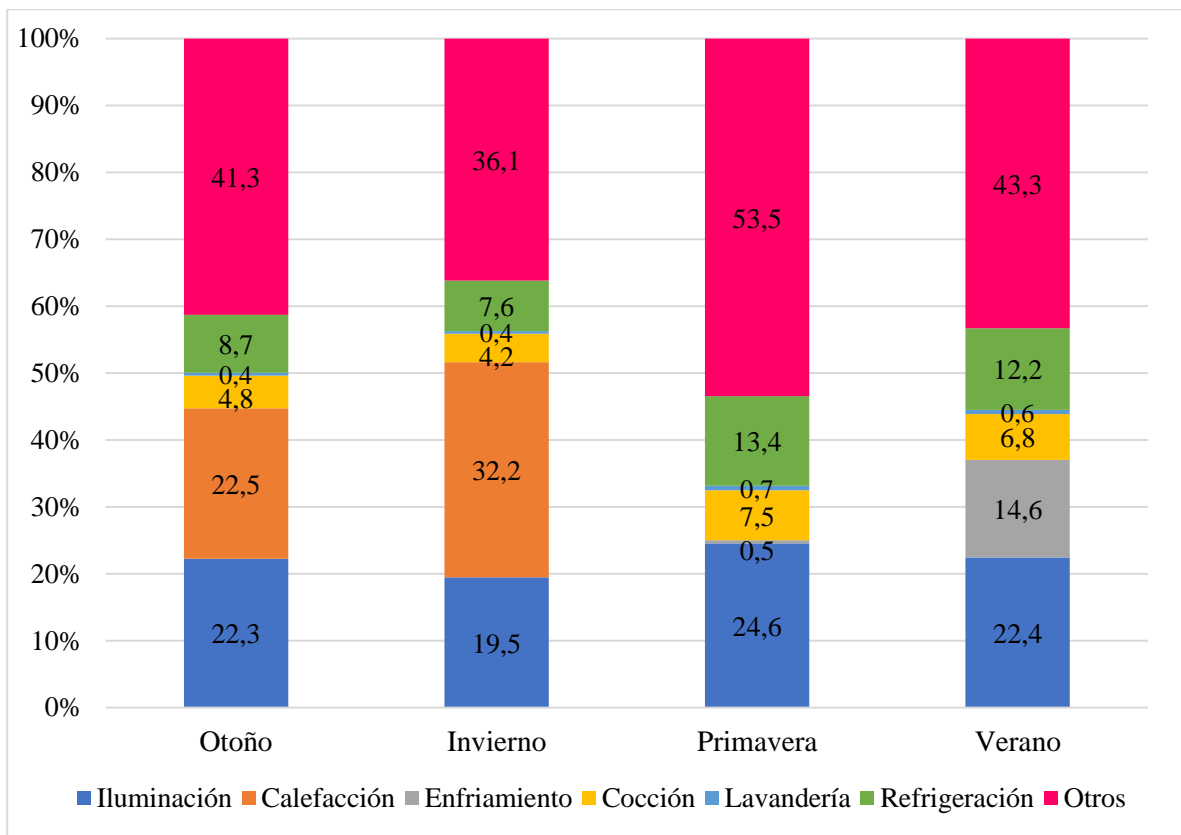


Figura 6.8.- Distribución del consumo eléctrico por periodo, servicios de ingeniería.

En la Tabla 6.12 se presenta el detalle de los consumos eléctricos de la empresa para un año completo, extraídos desde las facturas de suministro. Con estos datos, se calcula el consumo promedio mensual, y para un mes tipo para cada estación: otoño, invierno, primavera y verano.

Los datos de consumo son graficados en la Figura 6.9, donde se puede observar una marcada estacionalidad. Esta puede ser atribuible al alto consumo eléctrico destinado a calefacción durante la época otoño/invierno, y la reducción de horas de trabajo del taller durante primavera/verano.

Tabla 6.12.- Detalle del consumo eléctrico, oficina de ingeniería

Mes Asociado	Consumo Energía Activa (kWh)
ene-18	870
feb-18	-
mar-18	906
abr-18	1.020
may-18	1.068
jun-18	1.364

jul-18	1.472
ago-18	1.453
sept-18	1.079
oct-18	886
nov-18	707
dic-18	580
Total anual	11.405

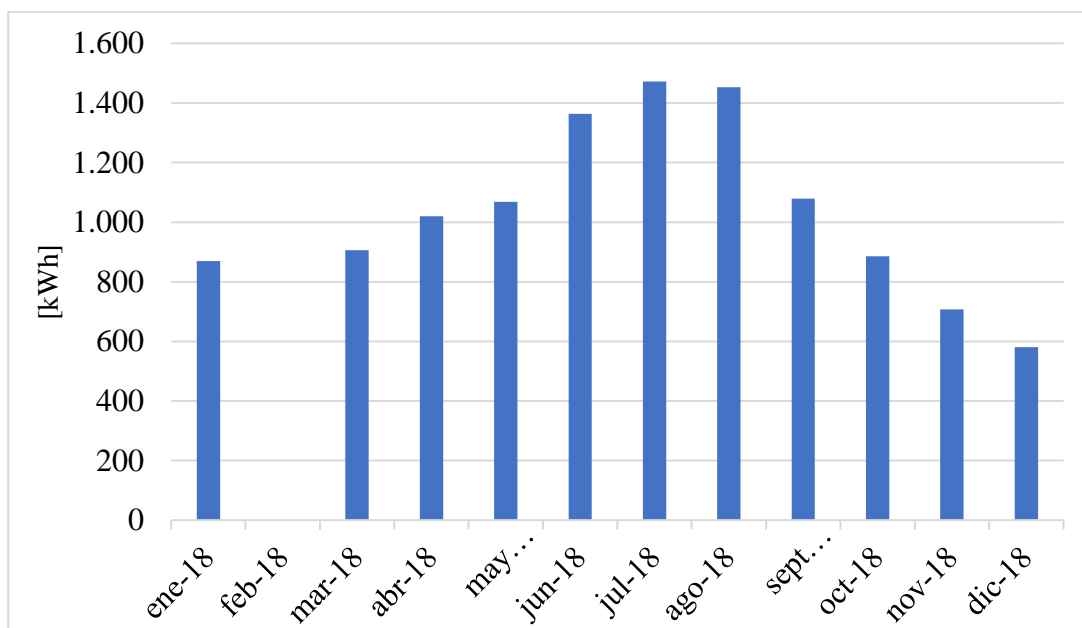


Figura 6.9.- Consumo eléctrico mensual, oficina de ingeniería

Como se puede observar en la Tabla 6.13, el porcentaje de error entre los consumos estimados y el real se encuentran dentro de un nivel bajo en todos los casos, excepto en primavera, donde el valor se encuentra en el rango entre 5% y 10%, correspondiendo a una sobreestimación del consumo. Considerando que los modelos de cálculo utilizados para todos los periodos son los mismos, y sólo en un caso se excede del valor esperado, encontrándose aún dentro de un rango aceptable, es posible que la sobreestimación se deba simplemente a una declaración de tiempos de uso mayor al real.

Tabla 6.13.- Resumen de consumos real y estimado, oficina de ingeniería

Consumo	Real [kWh]	Estimado [kWh]	Error [%]
Promedio mensual	1.037,0	1.054,0	1,6
Verano	888,0	852,9	3,9
Otoño	1.150,7	1.201,9	4,5
Invierno	1.334,7	1.373,1	2,9
Primavera	724,3	778,8	7,5

6.3.2 Cálculo de indicadores

A partir de la información recabada con la entrevista aplicada y las estimaciones de consumo por usos finales, se calculan los indicadores seleccionados, que se presentan a continuación en la Tabla 6.14. En este caso, 4 indicadores presentan variaciones según la temporada:

- el indicador de iluminación disminuye de otoño/invierno a primavera/verano debido al menor uso de luminarias por el aumento de la luz natural, particularmente en el sector taller y estacionamiento, que se encuentran a cielo abierto;
- el indicador de calefacción aumenta significativamente debido al aumento en las horas de uso de los calefactores eléctricos;
- el indicador de enfriamiento y aire acondicionado, presenta una gran variación de primavera a verano, pues en la primera se utiliza sólo ventilador, y luego una combinación de ventilador y aire acondicionado;
- finalmente, el indicador de consumo de otros equipos, donde se encuentran 2 tornos de 1.500 [W], una lijadora de 2.200 [W] y un compresor de aire de 2.237 [W], presenta una variación de otoño/invierno a primavera y verano debido a la disminución de uso por una reducción en los proyectos de la empresa.

La unidad de actividad utilizada para el cálculo en este caso, es la cantidad de empleados, pues en oficinas es este parámetro el que suele incidir en un mayor o menor uso de la energía.

Tabla 6.14.- Indicadores calculados para la oficina de ingeniería

Indicador	Valor				Unidad
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
Asequibilidad	0-10				%
Diversificación	0				%
Consumo energético en iluminación por unidad de actividad	29,73	29,73	21,25	21,25	$\left[\frac{kWh}{\text{empleado}} \right]$
Consumo energético en calefacción por unidad de superficie	4,161	6,795	No aplica		$\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
Consumo energético en enfriamiento/AC por unidad de superficie	No aplica	No aplica	0,055	1,920	$\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$

Consumo energético en agua caliente sanitaria por unidad de actividad	No aplica				$\left[\frac{kWh}{empleado} \right]$
Consumo energético en cocina, hornos y secado por unidad de actividad	6,46	6,46	6,46	6,46	$\left[\frac{kWh}{empleado} \right]$
Consumo energético en refrigeración por unidad de actividad	11,59	11,59	11,59	11,59	$\left[\frac{kWh}{empleado} \right]$
Consumo energético en lavandería por unidad de actividad	0,57	0,57	0,57	0,57	$\left[\frac{kWh}{empleado} \right]$
Consumo energético en equipos específicos por unidad de actividad	55,14	55,14	46,26	41,03	$\left[\frac{kWh}{empleado} \right]$

6.4 Resumen de resultados

En la presente sección se presenta un resumen de los resultados obtenidos, en base al error entre los consumos reales y estimados.

Como bien se menciona en la sección 4.2, sobre los criterios de evaluación de los errores obtenidos en la estimación, en este trabajo se consideran correctas las mediciones donde se obtienen errores cercanos al 5%, como se establece en las guías metodológicas más exigentes, sin embargo, también se consideran aceptables, sujeto a análisis, los resultados entre 5% y 10% de error. Con esto, todas las estimaciones caen al menos dentro del rango aceptable.

En la Tabla 6.15, se muestra un resumen de los resultados obtenidos, comparándolos con los estándares internacionales definidos por la ASHRAE Guideline 14-2014, el criterio del Programa Federal de Manejo de la Energía de Estados Unidos y el protocolo IPMVP. Para los dos primeros casos, ASHRAE/FEMP, en las 3 empresas evaluadas, al menos una estimación se encuentra fuera del rango aceptable, y en el caso del IPMVP, todas las estimaciones se consideran correctas.

Tabla 6.15.- Resumen de los resultados obtenidos

Empresa	Energético	Consumo	Error [%]	¿Cumple estándar?	
				ASHRAE/FEMP	IPMVP
Comercio al detalle	Electricidad	Promedio mensual	1,5	Si	Si
		Otoño/Invierno	5,1	Si	Si
		Primavera/Verano	0,8	Si	Si
	GLP	Semanal	10,4	No	Si

Comida rápida	Electricidad	Promedio mensual	4,1	Si	Si
		Otoño/Invierno	10,2	No	Si
		Primavera/Verano	2,2	Si	Si
Servicios de ingeniería	Electricidad	Promedio mensual	1,6	Si	Si
		Verano	3,9	Si	Si
		Otoño	4,5	Si	Si
		Invierno	2,9	Si	Si
		Primavera	7,5	No	Si

7 Análisis de brechas y barreras

A lo largo del trabajo realizado, se fueron presentando diversas dificultades para la selección y aplicación de indicadores, tanto en cuanto al acceso a la información, la calidad de la misma y los modelos de estimación de consumo utilizados. En esta sección, se busca identificar dentro de esos problemas, aquellos que se podrían presentar como brechas o barreras para la futura aplicación de los indicadores, además de dar recomendaciones para la reducción de las mismas.

7.1 Acceso a la información

7.1.1 Falta de información sistematizada

Si bien diversos proyectos de Eficiencia Energética financiados por programas estatales se han llevado a cabo, con levantamientos de línea base, auditorías energéticas, o diversos tipos de análisis, la información generada no se encuentra sistematizada o centralizada en algún medio que permita su posterior estudio o utilización, lo que impide la aplicación de los indicadores energéticos en base a fuentes administrativas, que es una de las consideradas por la AIE para este fin, por representar posibles registros periódicos y confiables, ya sean públicos o privados.

No obstante la centralización de la información puede significar una alta inversión de recursos tanto administrativos como humanos, esta es una brecha que se podría sortear, pues existen alternativas para delegar el proceso y hacerlo menos costoso. Un ejemplo son los Centros de Evaluación Industrial²⁵ en Estados Unidos, donde se ofrece asesoría energética a empresas manufactureras medianas y pequeñas, para mejorar su productividad y reducir desechos, a través de asistencia técnica gratuita mediante grupos de estudiantes de ingeniería de diversas universidades. Con esto, han conducido 19.107 evaluaciones, generando una base de datos sobre uso de energía, producción, cantidad de empleados, medidas de eficiencia energética implementadas, entre otros, en empresas de todos los rubros de manufactura.

7.1.2 Desconfianza empresarial

Una de las mayores barreras de acceso a la información, se debe a que aún en contextos donde existen la disposición y los recursos para recabarla, hay, en general, una clara reticencia por parte de las empresas a compartir su información, incluso cuando esta no se relaciona con su estructura de costos o ingresos, que sería más comprensible quieran mantener de forma reservada.

En el caso de este trabajo, fue complejo encontrar empresas dispuestas a exponer datos sobre cómo utilizan la energía, y aún más complejo conseguir las boletas o facturas de pago por energía. En el caso particular del indicador de asequibilidad, preguntar qué parte de los ingresos se destinan a

²⁵ Industrial Assessment Centers (IAC) del Departamento de Energía de Estados Unidos

compra de energéticos causó desconfianza, por lo que debió implementarse la modalidad de respuesta por rangos (entre 0 y 10%, 11 y 20%, etc).

Para reducir esta brecha se sugiere reforzar las campañas de información, donde se deje en claro que el conocimiento sobre la utilización de la energía, conduce a mejores prácticas que reduzcan el consumo y, por ende, los costos de operación y el impacto ambiental (que puede traducirse en una mejor imagen de marca). En el caso de diseño de futuras entrevistas o encuestas para recabar información, se recomienda evitar realizar preguntas en términos absolutos, implementando la modalidad de respuesta por rangos. Parece además necesario que al menos los proyectos implementados con recursos públicos vayan ligados a un compromiso por parte de las empresas beneficiadas a proporcionar información sobre las mejoras alcanzadas.

7.2 Calidad de la información

7.2.1 Desconocimiento de la información y falta de registros

Una vez soslayada la dificultad de acceder a la información, es usual encontrarse con que esta es poco precisa o se encuentra incompleta, esto pues son en general las empresas más pequeñas y de menos recursos las de mayor disposición a compartirla, sin embargo no cuentan con sistemas de toma y registro de datos, ya sea de utilización de equipos, como de productividad. No existiendo registros ni control, los datos tienden a sobre y subestimarse, o bien a pasarse por alto.

Al aplicar por primera vez la entrevista diseñada, esta se envió a una de las empresas para ser respondida por ellos, sin embargo mucha de la información declarada parecía poco realista, y una vez en terreno se pudo cotejar que mientras se sobrestimaron los tiempos de utilización de varios equipos, otros simplemente no fueron considerados. Para el caso de información de productividad, una de las empresas mantenía un registro muy detallado de sus ventas, pero era considerada información confidencial, y las otras dos no mantenían un recuento, contando sólo con información sobre las horas de funcionamiento y cantidad de empleados.

En programas de gestión energética organizados por el Ministerio de Energía y otras instituciones, se ha solicitado a pequeños empresarios llevar registros que permitan conocer el comportamiento de su consumo, previa explicación de cómo realizarlos, y aun así, estos tienden, salvo excepciones, a no realizarlos, por lo que es difícil buscar una solución a este problema, que al parecer amerita un cambio cultural. De todas formas, se pueden realizar programas de formación y capacitación, y nuevamente, al menos ligar la entrega de recursos públicos a proyectos donde los beneficiados se comprometan a mantener registros que permitan el monitoreo de los resultados obtenidos. Con el fin de conocer si los esfuerzos realizados están dando resultado, es necesario destinar recursos específicamente a mediciones de largo plazo.

7.2.2 Agregación de consumos residencial y productivo

Otro problema observado, que incide directamente en la calidad de la información disponible, es la agregación del consumo de la empresa con el consumo residencial. Muchas MiPyMEs se instalan en el mismo domicilio donde habitan sus dueños, sin medidores de energía separados, por lo que es complejo determinar qué parte de la energía es consumida con fines productivos o meramente residenciales.

Dos de las tres empresas entrevistadas en el contexto de este trabajo se encontraban emplazadas en terrenos residenciales, donde habitaban sus dueños o trabajadores, contando con un solo medidor eléctrico para todos los consumos, y es fácil observar dentro de la ciudad esto no es un caso aislado, especialmente en el caso de comercios minoristas.

Una posible solución es fomentar la instalación de medidores independientes en las MiPyMEs donde se da la situación previamente descrita, pero para ello sería necesario estudiar los potenciales ahorros que se pueden alcanzar gracias al mejor conocimiento y gestión de la energía, y verificar que estos compensen la inversión que significaría la compra de un medidor extra, que al momento de escribir el presente trabajo era cercana a los 190.000 CLP²⁶, con costos de instalación (el equipo solo ronda los 20.000 CLP²⁷). Por otra parte, proyectos de energías renovables debiesen considerar siempre incluir medidores que permitan conocer la generación; en el caso de paneles fotovoltaicos, un medidor básico puede costar hasta 53.000 CLP²⁸. Otra solución pasaría por la correcta caracterización de los usos finales, permitiendo así conocer el consumo desagregado a partir del consumo total, pero este trabajo es complejo y requeriría de mucho tiempo.

7.3 Modelos de estimación de consumo

Si bien todas las estimaciones realizadas se encuentran dentro de márgenes aceptables, existen dos modelos sobre los que se podría mejorar, detallados a continuación.

7.3.1 Consumo de gas

Dentro de los casos estudiados en esta memoria, sólo una empresa poseía equipos a gas (GLP), en los que las estimaciones arrojaron un 10,4% de error, siendo el mayor de entre todas las estimaciones realizadas. El modelo utilizado sólo considera la potencia nominal de los equipos, el poder calorífico superior del combustible y el tiempo de uso, cuando en realidad existen diversos factores incidiendo en el consumo como por ejemplo el uso de horno, coeficiente de transferencia térmica de los alimentos y cantidad de platos utilizados en la cocina, o la temperatura de entrada y salida del agua caliente sanitaria.

²⁶ <https://www.habitissimo.cl/presupuesto/instalar-medidor-monofasico>

²⁷ <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/342023X/remarcador-electrico-10-a-50-a>

²⁸ <http://www.aquitosolar.cl/medidores-energia-solar>

Existen dos posibles soluciones que permitan acortar la brecha que actualmente significa el monitoreo de consumo de gas: la primera es indagar en la búsqueda de modelos de consumo más detallados, y la segunda es el uso de medidores de consumo. El caso de la primera presenta la complejidad de que un modelo más detallado requerirá, muy probablemente, de más información, a la que de por sí ya es difícil acceder, en cambio el segundo, representa una forma simple y efectiva, aunque más costosa, de conocer el consumo.

Si bien es usual encontrar contadores de gas en el caso de suministro por cañería, el caso de compra de balones podría ser más complejo, sin embargo la empresa nacional Abastible, desde principios del 2018 ha utilizado una herramienta de control y monitoreo, Medidor Abastible, en base a ultrasonido, manejada a través de una aplicación móvil para facilitar el control del consumo de sus clientes²⁹. Cabe destacar que para la mayor difusión de esta tecnología, la empresa hizo entrega de los primeros 5.000 dispositivos de forma gratuita.

7.3.2 Consumo en refrigeración

Si bien las 3 empresas estudiadas poseían equipos de refrigeración, y en general los márgenes de error son aceptables, las estimaciones se realizaron de dos formas diferentes: para los refrigeradores con etiquetado de eficiencia energética se usó el dato de consumo mensual promedio de la etiqueta, y en aquellos sin etiquetado, se realizó una multiplicación de la potencia nominal de los equipos, por el tiempo de uso de los mismos, asumiendo este último como un 33% del día. Esto es un problema pues el consumo de equipos de refrigeración se ve profundamente ligado a la temperatura de entrada de los alimentos almacenados, sus coeficientes de transferencia térmica, la aislación del equipo, los hábitos de utilización y la temperatura ambiente. Ambos modelos utilizados muestran consumos constantes, sin estacionalidad, lo que no hace sentido con el funcionamiento de este tipo de equipos.

Existen estudios que relacionan la variación del consumo en refrigeración en función de la variación de los grados día^[18], mostrando una clara relación. Dicho esto, sería interesante encontrar un modelo de estimación basado en grados día, que permita obtener valores más apegados a la realidad, sin embargo, este modelo probablemente requeriría de información difícil de obtener, como coeficientes de transferencia térmica de los equipos, lo que presentaría una barrera para su aplicación. Con esto, se recomienda el uso de remarcadores eléctricos, que midan y registren el consumo de equipos de refrigeración de forma simple y confiable.

Existen equipos de medición muy fáciles de utilizar, los que basta conectar entre el equipo a medir y la toma de corriente, mostrando potencia consumida en tiempo real, costo económico actual, proyecciones de costo y energía consumida acumulada. Además de proporcionar información de forma precisa, estos equipos son de bajo costo, bordeando los 15.000 CLP en comercios nacionales³⁰, pero de costo mucho menor al ser importados.

²⁹ <https://www.abastible.cl/abastible-lanza-solucion-que-permite-medir-y-controlar-el-nivel-de-gas-licuado-de-los-cilindros-a-traves-del-smartphone/>

³⁰ <https://www.kaltemp.cl/producto/KLME0003>

8 Conclusiones

A continuación, se presentan las principales conclusiones de este trabajo de título, en base a los objetivos definidos para el mismo.

Se realizó una revisión documental de avances a nivel internacional, de donde se destacan principalmente la experiencia europea con su base de datos ODYSSEE, y el Proyecto de Indicadores Energéticos de la AIE. Si bien no todos los indicadores recomendados por los programas anteriormente mencionados pueden ser aplicados a Chile en el corto plazo, debido a su alto nivel de desagregación, y la falta de información, estos representan un nivel de avance que evita el trabajo de diseño, siendo necesario sólo seleccionar los indicadores adecuados, aplicando pequeñas modificaciones en algunos casos, desde las bases metodológicas que dichos programas han creado y publicado.

En base a los documentos revisados, se rescata además la recomendación de considerar indicadores para 4 sectores distintos: residencial, industrial, servicios y transporte, de los que, en este trabajo, el primero es descartado, debido al enfoque en MiPyMEs. Considerando los alcances definidos para el estudio, se hizo una priorización, enfocando los esfuerzos hacia el sector Servicios, por ser el que actualmente genera mayor empleabilidad y aporte de valor agregado al PIB del país, además de ser el sector de mayor crecimiento. En base a criterios similares, de tamaño de ventas, empleabilidad y rentas pagadas, a la espera de aplicar los indicadores en ellos, se seleccionan los rubros más activos dentro del sector, siendo estos los rubros G, I, M, N y P de la CIIU 2012.

Dado el enfoque hacia el sector Servicios, se seleccionan los indicadores de Iluminación, Calefacción, Enfriamiento, ACS y Otros equipos, recomendados por la AIE, dos indicadores: Asequibilidad y Diversificación, extraídos del documento “Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: Directrices y Metodologías”^[7], y por último, se agregan indicadores para los usos finales contemplados en el programa Gestiona Energía MiPyMEs, del Ministerio de Energía, que son: Cocina, hornos y secado, Refrigeración y Lavandería. Se destaca que los indicadores de climatización son calculados en función de la superficie, el resto en función de unidades de actividad y los indicadores de Asequibilidad y Diversificación como porcentajes. La aplicabilidad de los indicadores a las MiPyMEs se basa en la consideración de una mayor cantidad de usos finales, en vista de la gran influencia que pueden tener otros consumos en empresas de menor tamaño, y la simpleza de la metodología de cálculo propuesta, que considera pocos datos y fáciles de obtener, como lo son las potencias y tiempos de funcionamiento de los equipos utilizados.

Debido a que la información no se encuentra disponible a partir de fuentes de información administrativas, se diseñó una entrevista para recabar la información necesaria y se contactaron empresas de los rubros previamente seleccionados, de las que 3 se mostraron dispuestas a compartir su información: una empresa de comercio al detalle, una empresa de comida rápida y una oficina de ingeniería. De esta experiencia se destaca la reticencia de las empresas a participar de este tipo de estudios, aun cuando no les represente un costo monetario, y la necesidad de formular las preguntas referentes a costos en formato de rangos, y no por valores absolutos. En base a la

información obtenida en la aplicación de la entrevista, se estimaron los consumos por usos finales para cada una de las empresas, los que fueron contrastados con las boletas de consumo energético facilitadas por las mismas, obteniéndose errores aceptables de acuerdo a los parámetros establecidos en base a las guías metodológicas de la ASHRAE, el Programa Federal de Manejo de la Energía de Estados Unidos y el protocolo IPMVP, siendo el mayor de ellos de 10,4%, y el menor de 0,8%. Con las estimaciones realizadas y la información recogida, se procede al cálculo de los indicadores, los que debido a la diferencia entre los rubros de las empresas que respondieron la entrevista, no son comparables.

Finalmente, se realizó un análisis de brechas y barreras para la implementación de los indicadores, donde se identifican problemas en 3 niveles: acceso a la información, calidad de la información y modelos de estimación.

- En cuanto al acceso a la información en Chile, si bien organizaciones como la Agencia de Sostenibilidad Energética poseen indicadores determinados en base a proyectos pasados, y hace públicos algunos resultados de forma agregada, no existe, como en otros países, un marco legal que fomente la medición de eficiencia en empresas, y por lo tanto, no existe un registro de mediciones confiables y permanentes en el tiempo. Esto se suma a que existe una marcada reticencia por parte de los empresarios a compartir su información. Parece necesario crear una base de datos que nos permita conocer el consumo energético a nivel más detallado, y generar compromisos, al menos por parte de las empresas que reciben fondos públicos para la implementación de proyectos, de poner a disposición sus progresos.
- Sobre la calidad de la información, las barreras no se acaban una vez se encuentra una empresa dispuesta a compartir su información, pues en general estas no cuentan con registros de utilización de equipos y/o productividad, y de tenerlos, suelen estar incompletos. Además, en el caso de las MiPyMEs, los consumos suelen estar mezclados con el consumo residencial, por lo que se hace aún más difícil desagregar la información según usos finales para el cálculo de indicadores. Para solucionar esto, se recomienda reforzar la importancia del conocimiento sobre el uso de la energía, y su potencial para implementar mejores prácticas que generen ahorros y reducción de emisiones, además de propiciar el uso de medidores independientes para uso residencial y empresarial.
- Con respecto a los modelos de estimación utilizados, si bien estos generaron errores dentro de rangos aceptables, hay dos casos donde se requiere una mejora significativa: consumo de gas y refrigeración. En el caso del consumo de gas, sólo una de las empresas poseía equipos a GLP, en los que se dio el mayor error de entre todos los cálculos, con un 10,4%, por otro lado, en los equipos de refrigeración, las estimaciones parecen estar dentro de rangos aceptables, cercanas al 5%, pero se realizaron en base a métodos distintos (etiquetado de EE o estimación del tiempo de funcionamiento), obteniéndose consumos constantes a lo largo del año, sin la estacionalidad esperada.

Si bien podrían encontrarse modelos teóricos para la estimación en base a grados día, coeficientes de transferencia, y demás variables que incidan en el consumo, ya se ha visto que el acceso a la información puede ser complejo, cuando no imposible, por lo que se

recomienda para trabajos futuros en este ámbito, la utilización de medidores de consumo, los que hoy en día son de fácil utilización y bajo precio.

A futuro, sería interesante realizar un trabajo semejante, ya sea con modelos de estimación mejorados o medidores de consumo, en empresas de características similares, comprando el acceso a bases de datos de indicadores medidos a nivel internacional, por una inversión de aproximadamente 400 EUR³¹, para realizar un estudio comparativo. O bien, revisar la efectividad de los indicadores como herramienta de monitoreo de resultados, aplicándolos a algún proyecto de eficiencia energética.

³¹ <http://data.iea.org/payment/products/120-energy-efficiency-indicators.aspx>

9 Bibliografía

- [1] Sathaye, Jayant & Price, Lynn & Mcneil, Michael, 2019. Energy Efficiency Indicators Methodology Booklet. 10.2172/985845.
- [2] Patterson, M.G., 1996. What is energy efficiency? Concepts, issues and methodological issues. Energy Policy 24, 377–390.
- [3] International Energy Agency, 2016. Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics.
- [4] Christopher Schmidt, Wen Li, Sebastian Thiede, Bernard Kornfeld, Sami Kara, Christoph Herrmann, 2019. Implementing Key Performance Indicators for Energy Efficiency in Manufacturing
- [5] Phylipsen Climate Change Consulting, 2010. Energy Efficiency Indicators: Best practice and potential use in developing country policy making.
- [6] Roberto Bermejo Gómez de Segura, 2014. Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis.
- [7] Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía (AIE), EUROSTAT, Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), 2008. Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: Directrices y Metodologías.
- [8] Efficiency valuation organization, 2007. International Performance Measurement and Verification Protocol IPMVP, concept and options for determining energy and wáter savings, Vol. 1, EVO 10000-1.2007.
- [9] O. Akinsooto, D. de Canha, J.H.C. Pretorius, 2014. Energy savings reporting and uncertainty in Measurement & Verification.
- [10] Efficiency Valuation Organization., 2018. IPMVP Generally accepted M&V principles.
- [11] Secretaría de Energía (SENER), Agencia Internacional de Energía (AIE), 2011. Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos.
- [12] DEXMA, 2016. Energy Management for SMES: Best practices from energy experts.
- [13] International Renewable Energy Agency. [en línea] <https://www.irena.org/energytransition>. [consulta: 10 julio 2019].

- [14] Jean-Marc Pierson, 2015. Large-scale Distributed Systems and Energy Efficiency: A Holistic View.
- [15] Germán Ramos Ruíz, Carlos Fernández Bandera, 2017. Validation of Calibrated Energy Models: Common Errors.
- [16] Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Capacidades Caloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de unidades.
- [17] Santander Trade Markets. Chile: Política y economía. [en línea] <https://santandertrade.com/es/portal/analizar-mercados/chile/politica-y-economia>. [consulta: 3 enero 2020].
- [18] Australian Greenhous Office, 2002. Appliance electricity end-use: weather and climate sensitivity.
- [19] M. Evans, B. Shui, T. Takagi, 2009. Country Reporto n Building Energy Codes in Japan.
- [20] ASHRAE, 2001. 2001 ASHRAE Handbook.