



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA LA FCFM DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PASCAL ANTONIO GRIOTT VELARDE

PROFESOR GUÍA:

REYNALDO CABEZAS CIFUENTES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

MANUEL DIAZ ROMERO

MÓNICA ZAMORA ZAPATA

SANTIAGO DE CHILE

2024

Diseño de sistema de gestión energética para la FCFM de la Universidad de Chile

Un Sistema de Gestión Energética (SGE) es una herramienta que comprende un conjunto de medidas, políticas, metas, planes de acción y procesos destinados a alcanzar objetivos energéticos en una institución determinada. Sus beneficios incluyen la reducción del consumo energético, la comprensión del uso y propósito de la energía utilizada, y la gestión óptima de este recurso. Los Sistemas de Gestión Energética son frecuentemente utilizados debido a su costo-efectividad, lo que resulta en una reducción del consumo energético y, por ende, en ahorros económicos.

Motivado por alcanzar una correcta gestión de la energía, el objetivo de este trabajo es diseñar un Sistema de Gestión Energética para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, basado en la norma ISO 50001:2018.

La metodología se basó en la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía de la Agencia de Sostenibilidad Energética. Esta incluyó un levantamiento de información energética de la Facultad para establecer los pilares del SGE: una estructura de apoyo para implementar medidas y planes energéticos, una planificación energética con objetivos claros y medibles, una operación para ejecutar la planificación y otras metodologías asociadas, y un método de revisión para garantizar la mejora continua del SGE. Este diseño implicó un proceso de iteración continua para asegurar su coherencia con las normas y consigo mismo.

Se presenta un diseño de SGE que, el cual, de ser implementado correctamente, cumple en un 92,3% las cláusulas establecidas por la norma ISO50001. Este considera la forma en que la Facultad utiliza la energía para propiciar las condiciones adecuadas para la enseñanza y la investigación, con una estructura de liderazgo encabezada por la Dirección Económica y Administrativa y el Equipo de Gestión de Energía propuesto, encargados de implementar los objetivos energéticos y controles operacionales que permitan alcanzar los objetivos energéticos plasmados en el SGE. Todo esto, envuelto en una estructura de revisión que permite identificar y solucionar No Conformidades para conseguir una mejora continua del sistema.

Se estima que la correcta implementación de este diseño de SGE podría reducir al largo plazo el consumo energético de la Facultad en un 4,5%, lo que implicaría una reducción de 412 MWh al año al usar como referencia los 9.158 MWh consumidos durante el 2022, lo que equivaldría aproximadamente a \$58,5 millones de pesos anuales.

Agradecimientos

Primero, gracias a ti que estás leyendo esto.

Gracias Reynaldo por ser guía de este trabajo y por tu paciencia frente a las incesantes preguntas por Whatsapp, de las cuales la mayoría fueron a horas inapropiadas. Gracias también a los profesores miembros de la comisión, Manuel y Mónica, por aceptar ser parte de este trabajo pese a que no me conocían jajaj.

Gracias a los chicos de Diablos Ingeniería por enseñarme un deporte tan maravilloso como lo es el Rugby, estoy seguro de que, de no haber sido por él, me habría vuelto loco en esta Facultad.

Gracias a los chicos de la rama de Rugby 7 de la Facultad; entrenar y jugar con ustedes, sumado a ser capitán, fue una experiencia invaluable, ¡incluso saliendo campeones de los TIF! De verdad que fue el mejor regalo que me pudieron haber dejado.

Gracias a mis amigos: los que vienen del colegio, los de la universidad, los que se conocieron en la cancha, en el CDI o cualquier otro lugar recóndito de mi día a día; cada minuto acompañado es uno aprovechado.

Gracias a mis mascotas; al Canito, que ya no nos acompaña y lo extraño muchísimo, y al Aragorn que debe ser el gato más desagradable de la Tierra, pero aun así lo amo.

Gracias Cony, por tu amor y compañía incondicional todos estos años, los que espero (¡y quiero!) que sean muchos más.

Gracias a mi familia; mis hermanos y mis abuelos, por ser el núcleo que siempre me ha empujado hacia adelante.

Finalmente, quiero dar gracias a mi Madre; superwoman y mi fan número uno. Estoy convencido que ella me cree capaz de conquistar el universo. Sin ella nada de esto habría sido posible.

Gracias por todo.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Motivación.....	3
Objetivos.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Marco teórico.....	4
Contexto energético chileno y su institucionalidad.....	4
Sistemas de Gestión de la Energía.....	6
Casos de éxito de Sistemas de Gestión de la Energía.....	11
Métodos de Priorización de Medidas de Eficiencia Energética	12
Principio de Pareto	13
Escala Saaty (Analytical hierarchy process)	14
Medidas de eficiencia energética en Instituciones de Educación Superior	17
Metodología.....	19
Resultados y Discusiones	24
Contexto de la FCFM en el entorno de un SGE.....	24
Liderazgo y compromiso de Alta Dirección.....	30
Planificación Energética	34
Estructura de Apoyo del SGE.....	45
Operación.....	53
Revisión y mejora.....	58
Manual del Sistema de Gestión de Energía	64
Impacto del SGE en el consumo energético de la FCFM.....	65
Conclusiones y Trabajos Posteriores	68
Bibliografía.....	72
Anexos	77
Anexo A: Energía y sus fuentes.....	77
Anexo B: Medidas de Eficiencia Energética	80
Anexo C: Documentos del SGE.....	82

Contexto de la Organización	82
Liderazgo	82
Planificación	82
Apoyo	82
Operación.....	83
Revisión.....	83
Manual del Sistema de Gestión de Energía	83

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Modelo de Sistema de Gestión Energética según ISO50001:2018 [8]	2
Ilustración 2 Matriz energética primaria del año 2020, Chile, de un total de 306.962 TCal. Elaboración propia basado en [4]	4
Ilustración 3 Matriz Energética secundaria del año 2020, Chile, de un total de 283.384 TCal. Elaboración propia basado en [4]	5
Ilustración 4 Metas del Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026 [2].....	6
Ilustración 5 Relación entre IDE y LBE [16].....	8
Ilustración 6 Relación entre el desempeño energético y el SGE, elaboración propia basado en [9]	11
Ilustración 7 Ejemplo de diagrama de Pareto [21]	13
Ilustración 8 Relación entre parámetros de evaluación de la satisfacción de 3 autos distintos [22]	17
Ilustración 9 Ejemplo de subsección de Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía [8]	20
Ilustración 10: Resumen general de metodología de creación del SGE.....	21
Ilustración 11 Relación entre las secciones del SGE, elaboración propia	22
Ilustración 12 Mapa de Procesos del SGE, elaboración propia.....	28
Ilustración 13 Organigrama Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia	33
Ilustración 14 Uso de Energía en la FCFM por Actividad, año 2022 [40].....	38
Ilustración 15 Uso de Energía en la FCFM por Edificio, año 2022	39
Ilustración 16 Diagrama Sankey del Consumo Energético de la Facultad [40].....	39

Ilustración 17 Diagrama de Pareto del Consumo Energético de la Facultad, elaboración propia	.41
Ilustración 18 Uso de Energía por mes, año 2022, elaboración propia	.....43
Ilustración 19 Consumo Eléctrico por medidor, año 2022, elaboración propia	.....43
Ilustración 20 Consumo Energético total por año, elaboración propia	.....44
Ilustración 21 Consumo eléctrico total por año, elaboración propia	.....44
Ilustración 22 Preguntas básicas de Eficiencia Energética para proyectos [37]	.....56
Ilustración 23 Tipos de Medidas de EE [37]	.....56
Ilustración 24 Información de entrada para la Revisión por Alta Dirección [8]	.....62
Ilustración 25 Información de Salida de Revisión por Alta Dirección [8]	.....63
Ilustración 26 Producción eléctrica mundial por fuente, 2019, elaboración propia basado de IEA, 2019 [47]	.....78
Ilustración 27 Producción energética mundial por fuente, 2019, elaboración propia basado de IEA, 2019 [48]	.....79

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de Casos de éxito de SGE, elaboración propia basado en [20]	.....12
Tabla 2 Conversión de Descripción Verbal a Escala Saaty, elaboración propia basado en [22]	....14
Tabla 3 Preferencia relativa de ejemplo Escala Saaty, elaboración propia	.....15
Tabla 4 Ejemplo de medidas evaluadas en base a los parámetros establecidos, elaboración propia	.....16
Tabla 5: FODA del SGE. elaboración propia	.....25
Tabla 6 Partes interesadas del SGE	.....26
Tabla 7 Fragmento de Análisis de Brechas, elaboración propia basado en [8]	.....29
Tabla 8 Diferencias en Análisis de Brechas entre comienzo y final del trabajo, elaboración propia	.....30
Tabla 9 Objetivos Energéticos del SGE, elaboración propia	.....36
Tabla 10 Usos Significativos de Energía de la FCFM, elaboración propia	.....40
Tabla 11 Matriz de Competencias de Cargos del Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia	.....47
Tabla 12 Leyenda Nivel de Competencias, elaboración propia	.....47
Tabla 13 Perfil de Cargo Líder del Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia	.....48

Tabla 14 Matriz de Comunicaciones del SGE.....	50
Tabla 15 Nomenclatura Códigos de Documentos del SGE, elaboración propia	52
Tabla 16 Fragmento de Checklist de implementación de SGE acorde a Norma ISO50001:2018, elaboración propia	61

Introducción

No es sorpresa el impacto que tiene el cambio climático en la vida, no solo para la generación actual, sino que también para las que vendrán, por ello diversos esfuerzos se hacen de manera interdisciplinaria para frenar, y posteriormente revertir el grave efecto de origen antropocéntrico que se ha ejercido sobre el medioambiente. Acorde el *Intergovernmental Panel on Climate Change*, es muy posible (sobre 95%) que las actividades humanas sean la causa dominante del cambio climático que se ha visto acentuado desde 1950 [1].

Entre los esfuerzos en contra del cambio climático se pueden encontrar diversas medidas que tienen como propósito un uso más eficiente de la energía, tanto eléctrica como de combustibles, que afectan transversalmente desde pequeñas instituciones hasta países completos. Un ejemplo a nivel país es el *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026* [2], el cual posee objetivos ambiciosos en cuanto al desempeño energético de Chile en diversas áreas, entre las que se incluyen los sectores productivos, transporte, edificaciones y ciudadanía. Una de las medidas de este escrito es que las empresas que posean un consumo superior a las 50TCal anuales deben implementar un Sistema de Gestión de Energía (SGE), lo que impactaría de manera significativa su eficiencia y desempeño energético. Otro documento importante es el *Decreto 28* [3] del Ministerio de Energía, el cual establece los criterios bajo los cuales las empresas deben informar al gobierno de Chile su información energética y los requisitos de los SGE que lleguen a implementar.

Si bien la educación no es de los sectores más consumidores de energía [4], se han desarrollado propuestas que buscan mejorar el desempeño energético de instituciones de educación superior, particularmente los *Acuerdos de producción limpia* (APL), siendo el primero de ellos propuesto en el año 2012, cuyo objetivo fue implementar estrategias de producción limpia en las instituciones incorporando materias de sustentabilidad; en cuanto a energía, propuso como meta “*reducir en un 5% el consumo de energía en kWh equivalente por m² en el total de sus instalaciones adheridas*” [5]. Esto, se vio continuado por el APL II firmado el 2021, el cual desarrolla en mayor profundidad materias de energía y su correspondiente gestión, planteando metas como la elaboración de líneas de base energética, auditorías energéticas y el establecimiento de SGE [6]. Aun así, ya existen instituciones de educación que se consideran grandes consumidores acorde al criterio establecido anteriormente [7].

La implementación de un SGE es una de las formas que tiene una institución para alcanzar un mejor desempeño energético; el cual corresponde a un conjunto de medidas, políticas, metas, planes de acción y procesos para alcanzar objetivos energéticos. Permiten a una institución identificar oportunidades de optimizar y por consiguiente mejorar su desempeño energético, y se ven regidos por la norma ISO50001, cuya última edición es del 2018. [8]

Los SGE van más allá de medidas energéticas aplicadas a la maquinaria utilizada en el desarrollo productivo. Como se puede apreciar en la Ilustración 1, se identifican cuatro etapas fundamentales para el desarrollo de un SGE: *Planificar, Hacer, Verificar y Actuar*, con la importancia de que luego

del último paso, se vuelve al paso uno, así alcanzando una constante mejora e iteración constante del sistema.

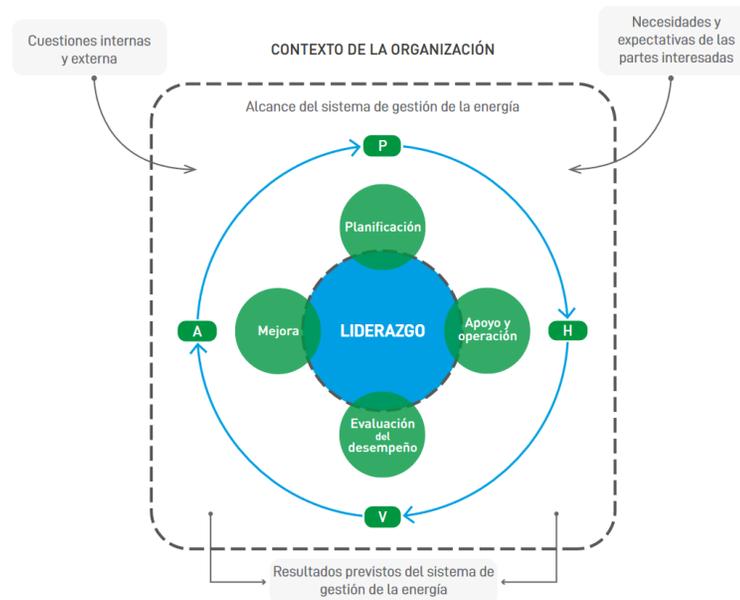


Ilustración 1 Modelo de Sistema de Gestión Energética según ISO50001:2018 [8]

Los SGE se encuentran enmarcados en el contexto de la organización, por lo que tienen que ser desarrollados de manera específica para cada una, sumado a ello se ven influenciados por cuestiones internas y externas, además de las necesidades de las partes involucradas en los procesos de la institución. Es de vital importancia un liderazgo consiente y comprometido con las políticas energéticas decididas, y que vele por el cumplimiento de las etapas ya mencionadas de manera constante y responsable. [9]

Entre los beneficios de los SGE es posible encontrar [8]:

- Disminución de consumo de energía, y por consiguiente ahorro monetario
- Alcanzar mayor sustentabilidad
- Reducir huella de carbono
- Estar a la vanguardia tecnológica

Acorde a un estudio realizado por el Ministerio de energía en el 2018, "(...) se evidencia que las empresas que han implementado y certificado sus SGE en sus instalaciones, les ha permitido lograr en promedio ahorros acumulados de un 12,3% (en promedio 4,5% anual de su consumo de energía), generando ahorros energéticos acumulados de 6.270 GWh, que equivalen a ahorros monetarios del orden de USD MM\$\$ 87". [8]

Como ejemplos de implementación de SGE en instituciones de educación superior, se tienen la Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad de Talca y Universidad Austral de Chile, las

que ya tienen en funcionamiento SGE que se implementaron en el último tiempo [10] [11] [12], y se está a la espera de sus resultados a largo plazo, debido a que la pandemia del COVID-19 ocurrió poco tiempo después de su implementación.

Motivación

La motivación de este trabajo surge de 2 aristas diferentes; la primera de ellas relacionada a reducir el consumo energético de la Facultad, además de conocer a cabalidad qué y cómo se consume, para poder gestionarlo de manera adecuada. Esto tiene estrecha relación con la segunda arista; el cambio climático, al verse envuelto en aportar a los esfuerzos en contra de este, ya que al usar de manera más eficiente y consiente la energía, también directamente se está aportando a un mundo más sustentable.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo es diseñar y planificar la implementación un sistema de gestión de energía para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, basado en la norma ISO 50001:2018.

Objetivos específicos

- Realizar análisis de brechas entre la situación actual de la Facultad y lo planteado por la norma ISO50001:2018.
- Determinar alcance y límites del sistema de gestión de energía a implementar.
- Elaborar una propuesta de política y planificación energética.
- Identificar oportunidades y medidas de eficiencia energética.

Marco teórico

Contexto energético chileno y su institucionalidad

Para comprender las medidas tomadas por la institucionalidad chilena, tanto en pos de la eficiencia energética como de frenar el cambio climático, primero es importante conocer adecuadamente su contexto. En la Ilustración 2 se puede apreciar la matriz primaria energética de Chile, la cual generó un total de 306.962 TCal en el año 2020 [4]. Se puede ver que no es muy distinta a lo mostrado por la matriz energética mundial de la Ilustración 26, con una notoria participación del petróleo y del carbón. Además, es útil referirse a la matriz energética secundaria para ver el consumo de energía final, la cual se puede apreciar en la Ilustración 3, donde es evidente la preponderancia del transporte y del sector industrial como principales consumidores de energía, sumado a la gran influencia de los derivados del petróleo en la matriz secundaria, cuyas consecuencias son conocidas.

Matriz energética primaria, Chile, 2020

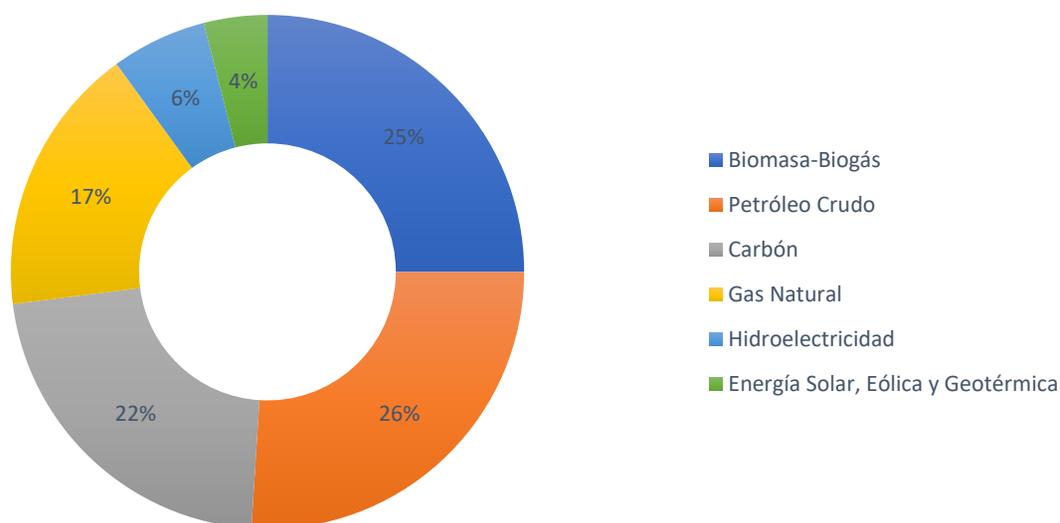


Ilustración 2 Matriz energética primaria del año 2020, Chile, de un total de 306.962 TCal. Elaboración propia basado en [4]

Matriz energética secundaria, Chile,

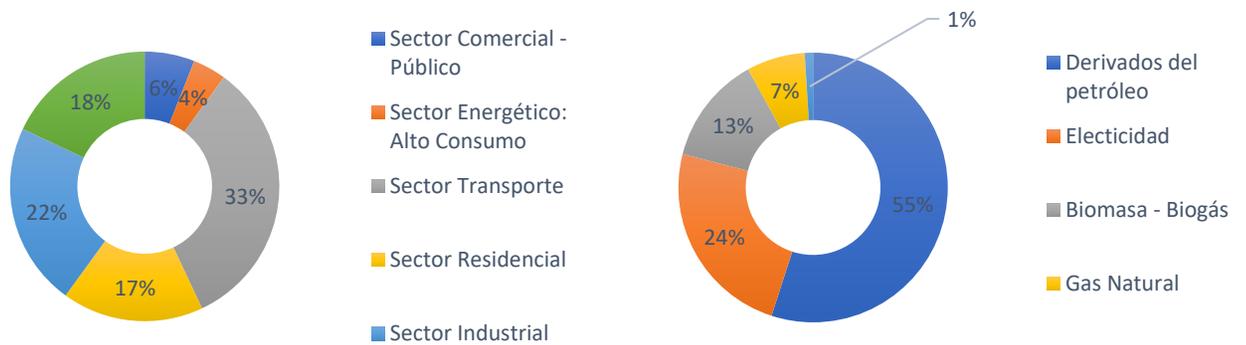


Ilustración 3 Matriz Energética secundaria del año 2020, Chile, de un total de 283.384 TCal. Elaboración propia basado en [4]

El cambio climático es un problema a nivel mundial, y, acorde a la CONAF, los principales efectos que se verían en nuestro país son [13]:

- Aumento de la sequía.
- Aumento de heladas, lluvias intensas en cortos periodos de tiempo.
- Aumento del nivel del mar.
- Disminución del periodo de lluvias.
- Aumento de los incendios forestales.
- Pérdida de la biodiversidad en plantas y animales.
- Daños económicos por la disminución de la producción de las cosechas de los terrenos agrícolas, frutales, hortalizas, cereales y pérdida de ganado por la escasez de forraje, entre otras.

El Ministerio del Medioambiente recalca la vulnerabilidad de Chile frente al cambio climático, sumando efectos como olas de calor y erosión de costas, por lo que se ha establecido una institucionalidad que enmarca un compromiso con el cambio climático y en consecuencia con la correcta gestión de los recursos, entre ellos, el energético [14].

En materia de eficiencia energética se encuentra la ley 21.305, publicada en el 2021 por el Ministerio de Energía [15]. En primera instancia determina que cada 5 años el mismo ministerio elaborará un *Plan Nacional de Eficiencia Energética*, que comprenda metas, medidas y planes de acción para alcanzarlas, además, establece los criterios bajo los cuales se clasificarán las empresas que deberán reportar sus consumos e intensidad energética anual, sumado a categorizar a los *Grandes Consumidores* como cualquier empresa que durante el año de calendario anterior haya tenido un consumo energético total igual o superior a las 50 TCal, además de entregar las medidas que deberán cumplir por ley para gestionar de manera más eficiente el recurso energético.

Esta ley, también establece elementos que no son relevantes para este trabajo, como el *Registro Nacional de Evaluadores Energéticos*, calificaciones energéticas mediante etiquetas, las medidas en caso de que lo establecido no se cumpla, entre otros.

El Plan de Eficiencia Energética vigente para el período 2022-2026 establece lo pedido por la ley, planteando medidas y metas sectoriales para los sectores productivo, transporte, edificaciones y ciudadanía [2], además de plantear como meta general lo que se puede apreciar en la Ilustración 4.



Ilustración 4 Metas del Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026 [2]

De relevancia para este escrito es una de las medidas del sector productivo, la que indica que “a partir de lo que mandata la ley 21.305 en artículo 2°, los grandes consumidores de energía (sobre 50 TCal de consumo al año) deberán implementar sistemas de gestión de energía de acuerdo con lo indicado en el reglamento respectivo” [2] [15]. Es importante notar que acorde a la misma ley, todas las filiales de una organización son consideradas parte de la institución como una sola entidad, es decir, que por ejemplo para el caso de la Universidad de Chile, estarían considerados los consumos de todas las Facultades, centros de investigación, etc., que pertenezcan a la casa de estudios. Actualmente se desconoce qué tan cerca de este límite se encuentra la universidad, sin embargo, realizar la implementación de manera temprana no presenta más que beneficios.

Sistemas de Gestión de la Energía

Un SGE es una herramienta profunda que permite que una institución funcione de manera más eficiente energéticamente, además de apoyar a nivel nacional e internacional el esfuerzo común de un mundo más verde y sustentable para esta generación y las que siguen.

La norma ISO50001:2018 establece los requerimientos para el establecimiento de un SGE en una institución sin importar su tipo o tamaño [9]. El primer paso es comprender a cabalidad las implicancias de un SGE, gracias a la Ilustración 1, se pueden apreciar las cuatro etapas del ciclo de mejoramiento continuo [9]:

- *Planificar*: Abarca principalmente los procesos de comprensión del contexto, establecimiento de la política energética y el equipo de gestión de la energía, considerando

acciones para abordar los respectivos riesgos y oportunidades. Además, conlleva una revisión energética, identificar los usos significativos de energía y establecer indicadores de desempeño energético, líneas de base energética, metas y objetivos energéticos y los respectivos planes de acción que sean necesarios para conseguirlos. También considera la creación de métodos de control y verificación de las acciones implementadas mediante el SGE.

- *Hacer*: Implementar los planes de acción, controles operacionales, de mantenimiento y de comunicación, considerando el desempeño energético en el diseño y adquisición.
- *Verificar*: Realizar seguimiento, medir, analizar, evaluar, auditar y dirigir revisiones de desempeño energético.
- *Actuar*: Tomar acción abordando no conformidades y mejorar continuamente el desempeño.

Una de las partes fundamentales es la comprensión del contexto de la organización, determinando cuestiones externas e internas que sean pertinentes para el establecimiento de un SGE, además de un alcance que sea plausible bajo los recursos y capacidades de la institución. El establecimiento del SGE es dependiente de un liderazgo con compromiso de parte de una *Alta Dirección* que garantice una mejora continua del desempeño energético y de la eficacia del SGE, esto se logra definiendo planes de acción, recursos y comunicación eficaz, conformando un equipo de trabajo y dirigiendo y apoyando a todos los integrantes de la comunidad para que contribuyan a la eficacia del SGE.

Otro punto fundamental es la Política Energética, la cual debe ser establecida de la mano de Alta Dirección para que sea apropiada para la institución, de esa forma entregando un marco para establecer y revisar los objetivos y metas energéticas. Además de ello, esta política debe estar disponible como información documentada, comunicada y ser periódicamente revisada y actualizada.

Además, se debe establecer un Equipo de Gestión Energética, que sean los encargados de velar por el cumplimiento de los objetivos, planes y metodologías que sean parte del SGE en cada una de las áreas correspondientes, como abastecimiento, proyectos, etc.

En cuanto a la planificación, esta debe considerar los requisitos planteados por la norma, entre los cuales se consideran garantizar que el SGE alcance los resultados previstos de mejora de desempeño energético, prevenir los riesgos no deseados y lograr una mejora continua. Las metas energéticas deben ser planteadas de manera que sean consistentes con la Política Energética, medibles, comunicables y objetas de seguimiento y actualización según sea pertinente. Un aspecto fundamental, tanto para comprender el contexto como para plantear las metas energéticas, es la Auditoría Energética, una herramienta de alzamiento y procesamiento de datos que permite, entre otras cosas, conocer la línea base de funcionamiento de la institución, los usos significativos de la energía (USE), y determinar y priorizar oportunidades de mejora del desempeño energético. Esta auditoría y revisión energética debe ser realizadas de manera periódica.

Otro apartado fundamental del establecimiento de un SGE es la creación de indicadores de desempeño energético (IDE) que permitan realizar un seguimiento constante del desempeño energético de la institución, los cuales deben ser debidamente documentados y comunicados a la comunidad; ejemplo de esto sería $\frac{kWh}{m^2}$, $\frac{kWh}{HH}$, $\frac{kWh}{estudiante}$, etc., y es importante que los IDE sean pertinentes y relevantes para la institución en cuestión.

La norma ISO50001 ya establece criterios para el establecimiento de los IDE, además de eso se suma la norma ISO50006 [16], que detalla en mayor profundidad el contexto, método de implementación y seguimiento de los indicadores de desempeño y como se relacionan con las líneas base energéticas (LBE).

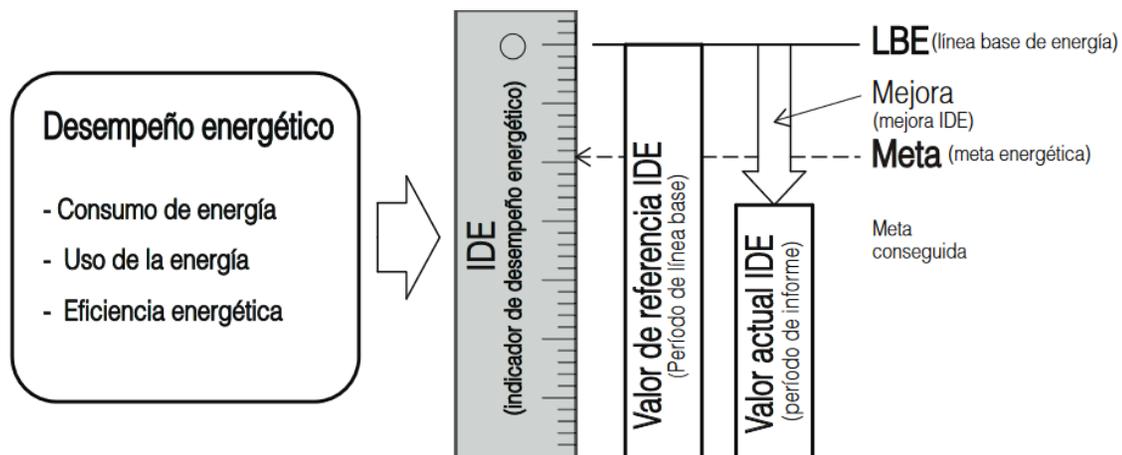


Ilustración 5 Relación entre IDE y LBE [16]

Se establece que los IDE deben implementarse en un marco estandarizado para su desarrollo y uso. Según esta norma, los IDE deben ser pertinentes, medibles, alcanzables, relevantes en el tiempo y específicos para la organización en cuestión. La implementación de estos indicadores sigue un proceso sistemático que implica la recopilación de datos, la definición de metas y la evaluación continua del desempeño energético. En la Ilustración 5 se puede apreciar como el IDE se define en base a una línea base energética, la cual entrega el valor de referencia. A través de la medición y el mejoramiento continuo del desempeño energético se puede apreciar como estos indicadores evolucionan en el tiempo y compararlos con la LBE originalmente planteada, permitiendo comparar rápidamente los estados pasados y presente y dar información clara respecto al funcionamiento del SGE.

Se contempla dentro de la implementación de un SGE, determinar la competencia de las personas cuyo trabajo afecte el directamente el desempeño energético de la institución o sean parte del Equipo de Gestión Energética, el que, de ser deficiente, se deben tomar las acciones respectivas para remediarlo, como proporcionar formación mediante tutorías, reasignación de personal, o contratación de nuevos trabajadores. Esto es importante ya que, además de los cambios a nivel gestacional y técnico que emanan de un SGE, también es de vital importancia una toma de

conciencia a nivel comunitario del SGE como tal, con una comunicación eficaz tanto interna, entre el Equipo de Gestión Energética, como externa hacia todos los estamentos que componen la comunidad universitaria.

La documentación del SGE debe ser rigurosa y transparente, y si bien el carácter de esta información puede variar dependiendo de la índole de cada institución, todos los documentos creados deben ser debidamente informados, seguidos y actualizados constantemente hacia la comunidad, asegurándose que esté disponibles y debidamente protegidos.

Otro factor fundamental de un SGE es el control operacional, siendo de mayor prioridad controlar los procesos relacionados con los USE; estableciendo criterios que permitan una operación y mantenimiento eficaz de todo proceso que utilice energía, y la debida comunicación y capacitación de estos criterios hacia el personal pertinente. De manera relacionada, es importante mantener un correcto control de los planes de mantenimiento para permitir una mejora de desempeño energético, incluso, sin cambiar los equipos [17].

Se deben aplicar criterios de diseño que aprovechen las oportunidades de mejora de desempeño energético y control operacional que se identifiquen en la institución, realizando la debida documentación y adquisición de productos, equipos y/o servicios que permitan un mejor desempeño energético, siempre y cuando, esto esté dentro de las capacidades de recursos de la institución.

Como ya se comentó anteriormente, es de vital importancia una constante evaluación del desempeño del SGE, lo que se realiza teniendo un seguimiento medido de, como mínimo, la eficacia de los planes de acción, los IDE, la operación de los USE y el consumo de energía real comparado al esperado, definiendo periodos debidamente informados y constantes de revisión y análisis, corroborando que se tenga un cumplimiento de los requisitos legales e internos planteados por el mismo SGE. Una herramienta para esto es la realización de Auditorías Internas que corroboren que se cumplan los requisitos del SGE, la Política Energética y la norma ISO50001:2018, la cual debe ser realizada por auditores objetivos e imparciales en su proceso, proceso que también se encuentra enmarcado en la norma ISO19011 [18]. Esto posteriormente es llevado a Alta Dirección para continuar con el proceso de mejora y acción correctiva de las No Conformidades.

A modo de síntesis de todo lo comentado anteriormente, en la Ilustración 6 se presenta la relación entre el SGE y el desempeño energético de una institución.

Evidentemente la norma ISO50001:2018 sienta las bases de lo que se espera de un SGE y los requerimientos para demostrar mejora del desempeño energético, sin embargo, la organización (y, por consiguiente, este trabajo de título) es el que define las metas energéticas. Para realizar esto, la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía [8], permite *“un barrido completo de los pasos a seguir para desarrollar una óptima implementación del SGE, según el ciclo: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, en el que se basan los sistemas de gestión y procesos de mejora continua*

en la actualidad.”. Es evidente que este escrito será una pieza fundamental en la metodología del trabajo, por lo cual se referirá a en detalle a él en la sección correspondiente.

De relevancia a nivel legislativo, el Decreto 28 [3] establece el reglamento sobre gestión energética de los consumidores con capacidad de gestión de energía (CCGE). Esta figura acarrea particular importancia en la legislación chilena, siendo la etiqueta que se le otorga a las empresas cuyos consumos superan las 50 TCal anuales, dada la exigencia de establecer un SGE.

También se establecen los procedimientos y plazos para informarle al ministerio los consumos, usos e intensidad energética de la institución. Además, se pueden encontrar las consideraciones generales de los SGE acorde a la legislación, principalmente referentes a la utilización de SGE certificados y no certificados. En el primer caso, el CCGE se acoge a una institución certificada por el Instituto Nacional de Normalización (INN) para la creación del SGE, lo que simplifica el proceso en virtud de la experiencia y confiabilidad que trae inherentemente esta certificación.

Por otro lado, y de relevancia para este trabajo, es el caso de un SGE no certificado, de establecerse el SGE diseñado en este escrito, debe cumplir con lo establecido en el decreto. Lo requerido no es muy distinto a lo que ya estableció la norma ISO50001:2018, pero permite tener una comprensión más aplicada para la correcta implementación del SGE.

Dentro del capítulo III del decreto, los artículos 15 al 31 establecen la necesidad de elaborar una política energética, la planificación energética pertinente, las metas y objetivos para cumplirlos, plan de acción, entre otros requisitos que ya fueron mencionados por la norma, la gran diferencia recae en la especificación de plazos y determinación de canales oficiales para la información, además del establecimiento de la figura del *Gestor Energético* del CCGE, el que corresponde a “(...)la persona interna del CCGE que cuenta con las competencias, experiencia o formación mínima para operar y mantener un sistema de gestión de energía en el marco de la Ley N° 21.305, sobre Eficiencia Energética, y que posee requisitos técnicos y administrativos para cumplir adecuadamente su función” [19].



Ilustración 6 Relación entre el desempeño energético y el SGE, elaboración propia basado en [9]

Casos de éxito de Sistemas de Gestión de la Energía.

Los sistemas de Gestión de la Energía han sido usados de manera transversal en distintos tipos de industrias, como manera ilustrativa del desempeño de los SGE [20], se elaboró la Tabla 1.:

Tabla 1: Resumen de Casos de éxito de SGE, elaboración propia basado en [20]

Institución	Año de implementación	Año de Certificación	Reducción de consumo
Aguas Andinas	2014	2015	15% de combustibles 5% de electricidad
CMPC	2013	2014	886 GWh/año
Hotel Plaza San Francisco	2010	2013	10% de reducción de consumo energético
GNL Mejillones	2014	2014	2,9% de combustibles 45% de electricidad
Viña Cono Sur	2001	2002	4,6 % del consumo energético

La forma en que estas empresas implementaron su SGE fue variada, dependiendo de su rubro, recursos y alcances, aun así, pese a sus diferencias lograron alcanzar ahorros energéticos significativos. Los SGE permiten que el monitoreo del uso de la energía se convierta en un componente permanente de las actividades y estrategias de una organización, razón por la cual son una herramienta fundamental en la estrategia organizacional.

Entonces, las instituciones que implementan Sistemas de Gestión de Energía en su operación no solo ven una reducción de su consumo, sino que también transforman la gestión energética como tal en un tema relevante para la organización, lo que permite una cuantificación y evaluación adecuada de los consumos y de las medidas de eficiencia energética que sean posible implementar, y seguir adecuadamente las que ya se hayan implementado. [20]

Métodos de Priorización de Medidas de Eficiencia Energética

Dada la diversidad de medidas que se pueden establecer en un SGE, es de vital importancia tener en consideración sistemas para priorizar y establecer las que sean idóneas dado el contexto y los recursos disponibles. En este trabajo se utilizaron principalmente dos, el principio de Pareto y la escala Saaty, las cuales se describen a continuación:

Principio de Pareto

El principio de Pareto nombrado en honor del economista italiano Vilfredo Pareto por Joseph M. Juran, establece que, en la mayoría de las ocasiones, el “80% de las consecuencias es producto del 20% de las causas”. Mediante la utilización de un diagrama de Pareto emanado de este principio, se puede establecer una importancia relativa entre los sucesos de un sistema. Para elaborarlo se debe ordenar los sucesos de mayor a menor frecuencia, y luego calcular la frecuencia acumulada de cada uno. Posterior a eso se grafican en una figura de dos ejes, donde el primero de ellos muestra la frecuencia relativa de cada uno de los sucesos en un gráfico de barras, y la frecuencia acumulada de los sucesos en el segundo eje, en un gráfico de línea. Se añade también la línea del 80% para identificar fácilmente donde se encuentra ese punto, y por subsiguiente, las causas más relevantes para el proceso en cuestión. [21].

En la Ilustración 7 Ejemplo de diagrama de Pareto Ilustración 7 se puede apreciar un ejemplo de un Diagrama de Pareto, donde se ve los tipos de error en el suministro de medicamentos. De este se puede apreciar como los denominados “Vital few” (pocos vitales) corresponden a casi el 80% de los casos por la cual se generan errores siendo solo 4 de las 12 causas, mientras que las otras 8 representan poco más del 20% entre todas ellas.

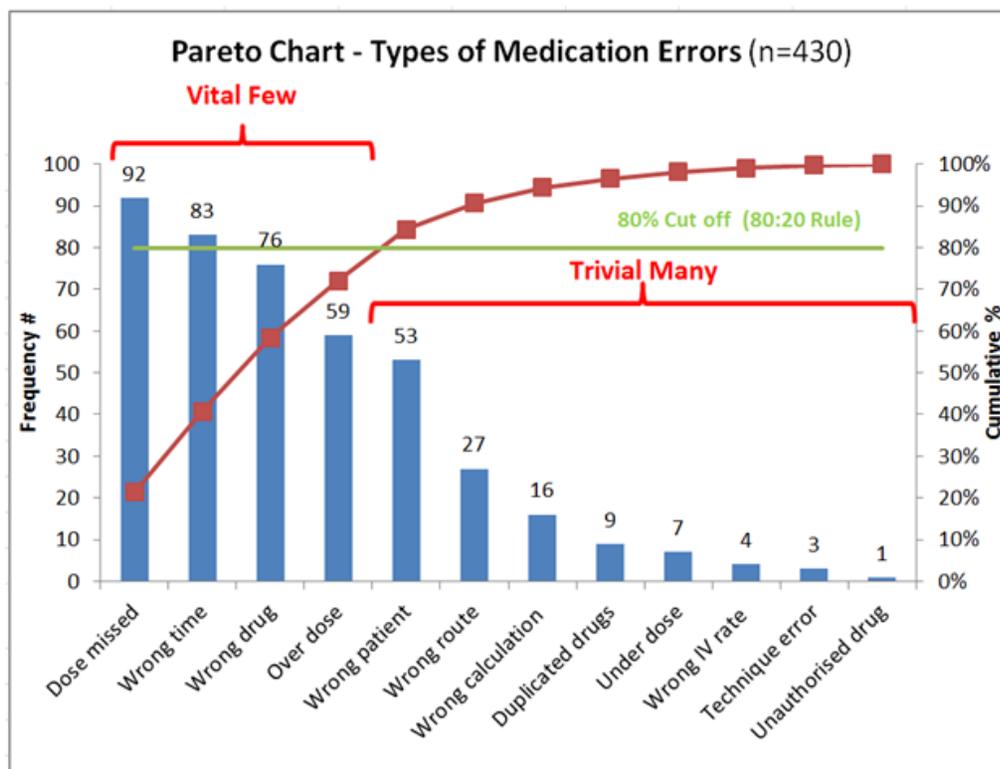


Ilustración 7 Ejemplo de diagrama de Pareto [21]

Es evidente que enfocar los esfuerzos en atacar las causas que generan el mayor porcentaje de eventos es una forma útil de priorización de esfuerzos, y el diagrama de Pareto es una herramienta

útil para identificarlas dado que se tenga acceso a la información, y que la naturaleza de esta permita esta clase de análisis estadísticos.

Escala Saaty (Analytical hierarchy process)

La escala Saaty (u AHP por sus siglas en inglés) es un método que permite transformar valoraciones relativas cualitativas entre parámetros de evaluación de un proceso en valores cuantitativos, y así facilitar una toma de decisiones de manera analítica a través de un sistema de puntaje. Fue desarrollado por Thomas L. Saaty en la década de 1970.

Para facilitar el entendimiento de este proceso, se realizará un ejemplo:

En primer lugar, se deben establecer los criterios por los que puede ser evaluado un ítem, el que puede ser un repuesto, una persona o para propósitos de este trabajo, una medida de eficiencia energética.

En este ejemplo, eligieron los elegir criterios evaluativos costo, potencial de mejora, y la dificultad de implementación para priorizar un conjunto de 3 medidas de eficiencia energética. Para propósitos del ejemplo, un menor costo, un mayor potencial y una menor dificultad es lo buscado.

Entre los parámetros evaluativos definidos se describe verbalmente la preferencia relativa acorde a la siguiente tabla de preferencias [22]:

Tabla 2 Conversión de Descripción Verbal a Escala Saaty, elaboración propia basado en [22]

Descripción Verbal	Escala Saaty
Indiferencia	1
	2
Preferencia Moderada	3
	4
Preferencia Marcada	5
	6
Preferencia Muy Fuerte	7
	8
Preferencia Extrema	9

Si bien en la tabla se ven solo números enteros, estos pueden ser fraccionarios de ser necesario.

Para ilustrar la preferencia relativa del conjunto entre las opciones de evaluación, se construye una matriz cuadrada A :

Tabla 3 Preferencia relativa de ejemplo Escala Saaty, elaboración propia

Parámetro	Costo	Potencial de Mejora	Dificultad
Costo	1	3	5
Potencial de Mejora	1/3	1	7
Dificultad	1/5	1/7	1

La interpretación de esta tabla es esencial, la diagonal de la matriz, $A_{ii} = 1$, es la preferencia relativa entre parámetros iguales, por lo cual es indiferente cuál se elija. En este caso de ejemplo, al ver cualquier otra casilla de la matriz A se puede ver la relación entre los parámetros; por ejemplo, en la casilla $A_{1,3}$ se puede ver que el bajo costo tiene una preferencia marcada sobre la baja de dificultad de implementación, asimismo, la casilla $A_{3,1}$ entrega la misma información, pero de manera inversa, ya que una descripción verbal menor que 1 indica que se prefiere el segundo parámetro sobre el primero.

Una vez construida esta matriz, se procede a obtener uno de los vectores propios de A , resolviendo la siguiente ecuación:

$$Au = \lambda u$$

Donde A es la matriz, u el vector propio, y λ el valor propio. Este proceso puede ser realizado analíticamente o computacionalmente, por motivos de simpleza para este ejemplo se realizó mediante el paquete Real Statistics de Excel [23]. En el caso de ejemplo mostrado en la Tabla 3, se obtiene el

valor propio $v = \begin{pmatrix} 0,85 \\ 0,47 \\ 0,26 \end{pmatrix}$, donde cada una de las coordenadas del vector representa correlativamente los parámetros definidos en la matriz, es decir que v_1 es el costo, v_2 es el potencial de mejora y v_3 es la dificultad.

A continuación, se realiza el cálculo del porcentaje que cada una de estas coordenadas representa de este vector, es decir $\frac{v_i}{\sum_i^3 v_i}$, $i = \{1,2,3\}$, se puede ver que $v_1 = 53,96\%$, $v_2 = 29,70\%$ y $v_3 = 16,34\%$. Se llamará al vector que contiene los porcentajes *Vector de peso* y se definirá como w ;

$$\text{entonces } w = \begin{pmatrix} 53,96\% \\ 29,70\% \\ 16,34\% \end{pmatrix}.$$

Esto quiere decir que el parámetro costo tiene un 53,96% del peso de la decisión, potencial de mejora un 29,70% y dificultad un 16,34%.

Teniendo el peso relativo de los parámetros ya definidos, ahora se podrían comparar y evaluar distintas medidas de eficiencia energética. Siguiendo con el ejemplo, pensemos que para cada posible medida se puede evaluar de 1 a 7 (donde 1 es peor y 7 es mejor) en los parámetros ya establecidos, creando la matriz de ejemplo B :

Tabla 4 Ejemplo de medidas evaluadas en base a los parámetros establecidos, elaboración propia

Medida	Costo	Potencial de Mejora	Dificultad
Medida 1	3	7	7
Medida 2	7	1	1
Medida 3	3	3	3

Finalmente, realizando el producto punto $B \cdot w$ se obtendrá el vector resultado p para las medidas en evaluación, donde las coordenadas p_1, p_2 y p_3 son el puntaje final de las medidas 1, 2 y 3 respectivamente. Continuando con el ejemplo se tendría lo siguiente:

Medida	Puntaje
Medida 1	4.30
Medida 2	4.70
Medida 3	3.92

Es decir, que dado el peso que se calculó basado en las preferencias cualitativas de cada uno de los parámetros de evaluación, de querer elegir una de estas tres medidas, la más adecuada sería la medida 2. Es importante ver cómo la medida 1 podría pensarse que es la mejor debido a sus excelentes puntajes en potencial y dificultad, sin embargo, al darle tanto peso al costo, termina siendo preferible la medida 2.

Este es solo un caso de ejemplo, en práctica las matrices de decisión son más complejas y pueden ser influenciadas por la opinión cualitativa de más de una persona, o contener relaciones de jerarquía entre ellas, como se puede ver en la Ilustración 8, donde para cada vehículo evaluado, existen varias áreas (mecánica, estética y confort) que a su vez dependen de otros parámetros. Se puede apreciar también como este segundo nivel de parámetros puede influenciar a más de uno de los parámetros iniciales, generando una relación compleja de priorización.

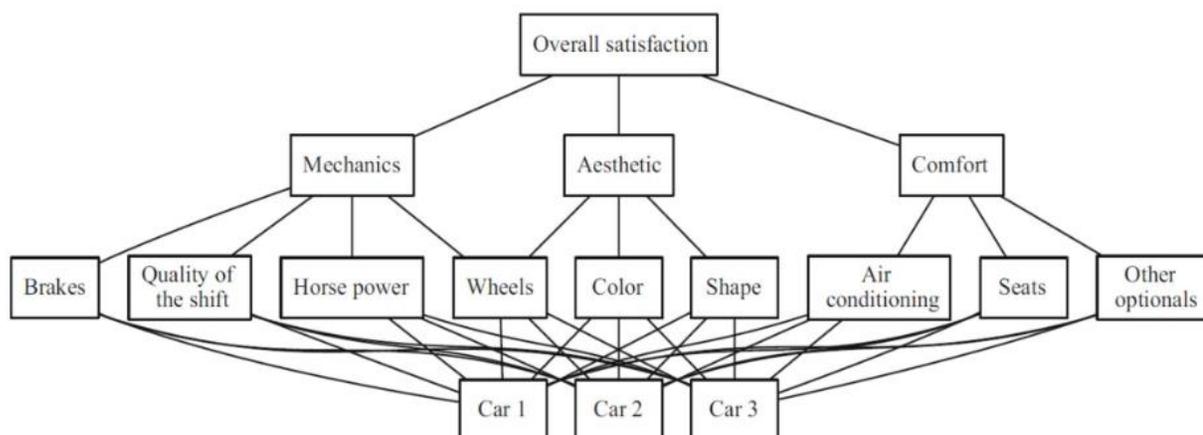


Ilustración 8 Relación entre parámetros de evaluación de la satisfacción de 3 autos distintos [22]

Medidas de eficiencia energética en Instituciones de Educación Superior

El sector educacional no es ajeno a la utilización de energía, y si bien no es de los más consumidores [4], según lo informado este año, ya hay instituciones de educación entre los CCGE, particularmente el *Preuniversitario Pedro de Valdivia*, la *Universidad Bernardo O'Higgins* y la *Universidad Católica del Norte* [7], lo que aumenta la relevancia de los SGE en el escenario energético de las instituciones de educación superior.

Un primer caso cercano es el SGE establecido por la UTEM en el año 2019, el cual emanó de un trabajo de título de una estudiante de la universidad [24]. Este se implementó acorde a la norma ISO50001:2018 y fue certificado por una empresa externa. Las actividades del SGE se centran en 3 áreas fundamentales; primero, entrenamiento y generación de conciencia orientado al personal de limpieza y mantenimiento y campañas de concientización apuntadas a toda la comunidad universitaria; segundo, aplicación y diseminación de controles operacionales mediante correos institucionales y revisión de eficacia mediante visitas a las Facultades; y tercero remplazo tecnológico de las luces fluorescentes por luces LED en los campus. El establecimiento de este SGE generó una mejora de desempeño energético del 42% el 2020, lo que se traduce en ahorros energéticos de 3.279 GJ, una reducción de 369 toneladas de emisiones de CO_2 y ahorros de \$USD 80.420. [10]. Sin embargo, es importante mencionar que esta reducción de consumo también pudo haber sido influenciada por la pandemia del COVID-19.

La Universidad de Talca inició su proceso de implementación de un SGE en el año 2018 luego de adjudicarse un fondo entregado por la Agencia de Sostenibilidad Energética [25], comenzando con el campus Talca y posteriormente ampliando el manto del SGE hasta cubrir los campus Colchagua, Curicó y Linares de la universidad para el año 2023 [26], expansión que, nuevamente, nace desde un trabajo de título [11], la cual plantea, entre otras cosas, una reducción del 15% del consumo

eléctrico del campus Colchagua y una disminución de 5,96 toneladas de CO_2 emitido hacia al ambiente.

Otra universidad nacional con SGE es la Universidad Austral de Chile, que empezó su proceso en el año 2019 [12], [27], el cual, acorde a la norma, documenta todos los procesos, roles, contextualizaciones, etc., relevantes al correcto funcionamiento del SGE.

Existen también evidencias internacionales de implementaciones exitosas de SGE, uno de los más antiguos es el establecido por Dublin City University, el que el año 2004 estableció el programa e^3 (energy, environment and economy), el que fundó una política de monitoreo de la energía consumida por los edificios de los campus y promovió una consciencia sostenible. Esto funcionó como piedra angular para un funcionamiento sustentable en los campus de la universidad, lo que culminó en el establecimiento de un SGE certificado acorde a la norma ISO50001 el 2016. En conjunto, el programa e^3 y el SGE, han significado un ahorro total de más de 500.000 GJ de energía, una reducción de 50.000 toneladas de CO_2 , una mejora de desempeño energético del 32% y ahorros combinados de cerca de US\$ 10 millones hasta el 2017. [28].

El establecimiento de un SGE en la Facultad además aportaría en el Acuerdo de Producción Limpia (APL) al que se encuentran adscritas numerosas instituciones de educación superior, entre ellas la Universidad de Chile; particularmente dentro de la meta N°4 referente a la gestión de campus, lo que apunta a la generación de un campus sustentable, realización de diagnósticos energéticos, determinación de USE, entre otros [6], que evidentemente tienen una estrecha relación con un SGE, y si bien, el APL tiene una vigencia hasta el 2024, el SGE a implementar representará un impacto profundamente beneficioso para la comunidad por muchos años más.

Además de ello en el contexto de la semana de la COP25 durante el 2019, empezó la iniciativa “Beauchef se compromete”, la cual establece lineamientos de trabajo para alcanzar la carbono neutralidad de aquí al 2050, dentro de esto se establecen compromisos institucionales para *enfrentar el desafío que plantea la mitigación y adaptación al cambio climático y abordarlo desde todos los ámbitos de su quehacer*, con metas tan relacionadas con este trabajo como la de *reducir significativamente el consumo de energía, mediante la adopción de tecnologías limpias con foco en nuestros principales ítems de consumo* [29]. Este tipo de lineamientos ya establecidos por la misma institucionalidad de la Facultad, permitirán tener una base sobre la cual construir este SGE.

Metodología

Como se estableció en la sección anterior, un SGE se rige por la norma ISO50001:2018 [9] y la planificación puede ser realizada siguiendo lo establecido por la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía de la Agencia de Sostenibilidad Energética [8].

Esta Guía entrega un marco de trabajo organizado y detallado siguiendo los lineamientos de la norma ya mencionada, estableciendo cada una de las secciones del SGE: Contexto de la Organización, Liderazgo, Planificación, Apoyo, Operación, Revisión y Mejora. Cada una de estas tiene asociados diversas subsecciones que le dan un desarrollo profundo a cada una.

Por ejemplo, en la Ilustración 9 se puede apreciar la subsección “2.3 *Determinación del alcance del Sistema de Gestión de la Energía*”, se aprecia que describe el contexto del ítem, su importancia y comenta métodos y lineamientos generales para su correcta aplicación. Los *Consejos* que muestra son útiles para mantener un correcto diseño del SGE, y los documentos que se indican en *Documentar* de cada sección fueron considerados como el mínimo para el diseño del SGE, agregando y/o modificando documentos y su contenido cuando fuera necesario para adaptarlo a la realidad de la Facultad.

Cada cláusula contiene alguna actividad que tiene que ser realizada, lo que puede ser la creación de algún proceso de control, de un formato de registro, redacción de documento que entregue lineamientos al funcionamiento del SGE, entre otros. Esto es registrado en el documento central de la sección correspondiente, por ejemplo, una actividad realizada en una cláusula de la sección *Contexto de la Organización* debe ser documentada en el expediente del mismo nombre y en su documento propio si es que fuera necesario. Todo es sintetizado finalmente en el *Manual del Sistema de Gestión de Energía*.

De esta forma, se ataca cada cláusula de la Norma ISO, mientras que al mismo tiempo se crea poco a poco la estructura de documentos y procedimientos que dan origen al SGE como tal, lo que se puede apreciar en la Ilustración 10.

Si bien cada actividad requerida en las secciones del SGE son diferentes, todas poseen un procedimiento relativamente similar. En primera instancia se tiene una *Información de Entrada*, la cual abarca el alzamiento de información de distintas fuentes, investigación bibliográfica relevante para procedimientos y criterios energéticos, los requisitos de la Norma ISO50001, lineamientos de la Guía y los documentos de otras secciones relevantes a la cláusula en cuestión. Esto entrega la información necesaria para realizar la actividad especificada para la cláusula, la que debe ser documentada correctamente, lo que a su vez es compilado en el documento central de cada sección y luego en el manual del SGE.

2.3 DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA



REQUISITO ESTRUCTURAL

Antes de iniciar su implementación, la organización debe establecer el alcance y los límites de su SGE. Esta acción consiste en la primera definición concreta relativa al SGE e influirá en el desarrollo del proceso de implementación.

Los límites, son la frontera física, local u organizacional definidos por la organización. Su establecimiento ayuda a delimitar el campo de actuación del SGE. Normalmente, su definición está asociada a una instalación, planta, sucursal o sitio de la organización.

Ejemplo de Límite:

- Empresa multisitio (todos los sitios o instalaciones de la organización).
- Empresa "Tres Cruces" ubicada en Avenida Alemana N° 50400, Santiago.

El alcance en tanto, se define como el conjunto de actividades y procesos que una organización abarca a partir del SGE. El alcance puede incluir varios límites y fronteras y, también, operaciones de transporte. La comprensión más común es asociar el alcance a la principal actividad que realiza la organización. El SGE incluye todos los tipos de energía dentro de sus límites o fronteras.

Ejemplo de Alcance:

- Fabricación y comercialización.
- Producción y distribución de envases plásticos.

Es obligatorio que el proceso de establecimiento del alcance se documente, ya que sus parámetros podrán ser revisados con posterioridad. Comúnmente, suelen indicarse las exclusiones en casos en que se precisa clarificar el alcance. Por ejemplo, el alcance del SGE, comprende el sistema de producción y se excluye el transporte de materia prima y de producto terminado.



CONSEJO

Es importante considerar en la definición del alcance y los límites:

- Que la organización asegure que tiene la autoridad para controlar el desempeño energético en dicha definición.
- No se debe excluir ningún tipo de energía dentro del alcance y límites.



DOCUMENTAR

- Alcances y límites del SGE, es información documentada

Ilustración 9 Ejemplo de subsección de Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía [8]

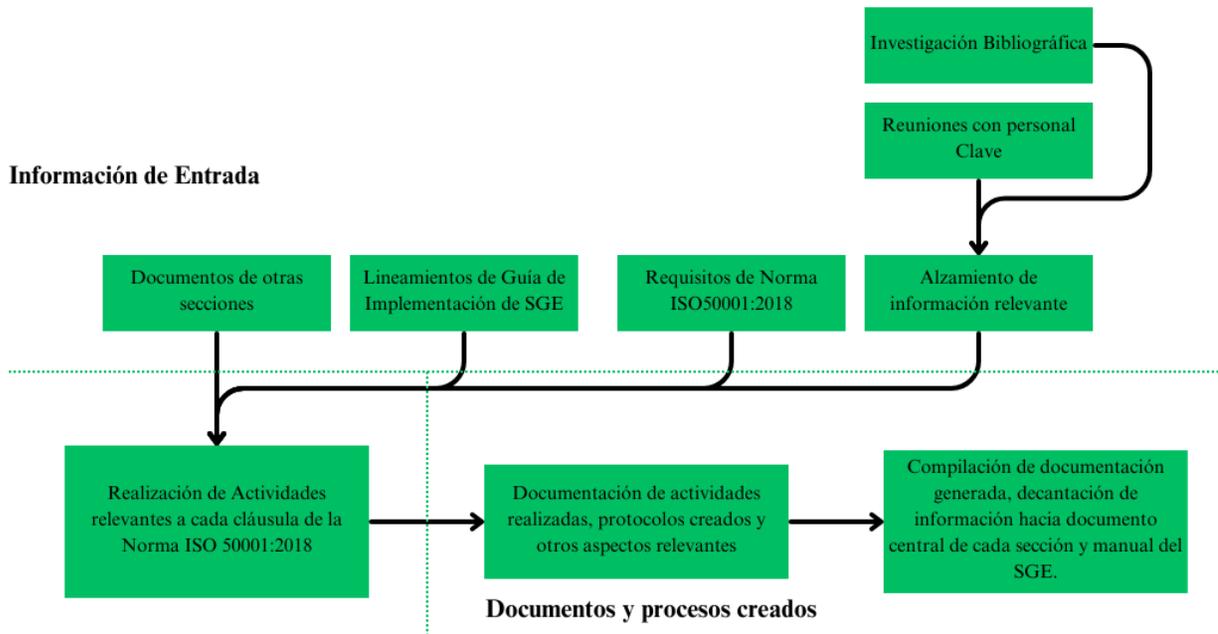


Ilustración 10: Resumen general de metodología de creación del SGE

Si bien la Guía [8] muestra el trabajo de la creación de las secciones del SGE de una manera lineal, estas tienen una dependencia más compleja entre sí; lo que se muestra en la Ilustración 11.

Establecer correctamente el contexto de la Facultad en ámbitos energéticos permite elaborar de manera adecuada una estructura de liderazgo y de apoyo que funcionan como los pilares fundamentales alrededor de los cuales se construye una Planificación energética coherente con lo establecido en las secciones anteriores. A su vez, esta Planificación tiene que ser operada y controlada mediante lo establecido en la sección de Operación. Finalmente se estableció cómo revisar y controlar el desempeño de lo establecido en la sección Revisión y Mejora, acto que permitió realizar un feedback hacia las secciones anteriores, adaptando y mejorando continuamente el diseño del SGE de una forma iterativa.

Destáquese, que las líneas negras hablan del primer desarrollo del diseño, estableciendo una linealidad que permite que cada una (o la combinación de dos) de paso a la otra. Las líneas verdes indican el trabajo de iteración y feedback que se pudo detectar y luego permitió adecuar las estructuras ya establecidas anteriormente para mejorar el diseño.

Siguiendo la estructura planteada tanto por la Guía [8] y lo planteado en la Ilustración 11, se fue avanzando por cada una de las secciones, diseñando y adaptando los lineamientos entregados en base a la realidad de la Facultad y la información que logró ser levantada.

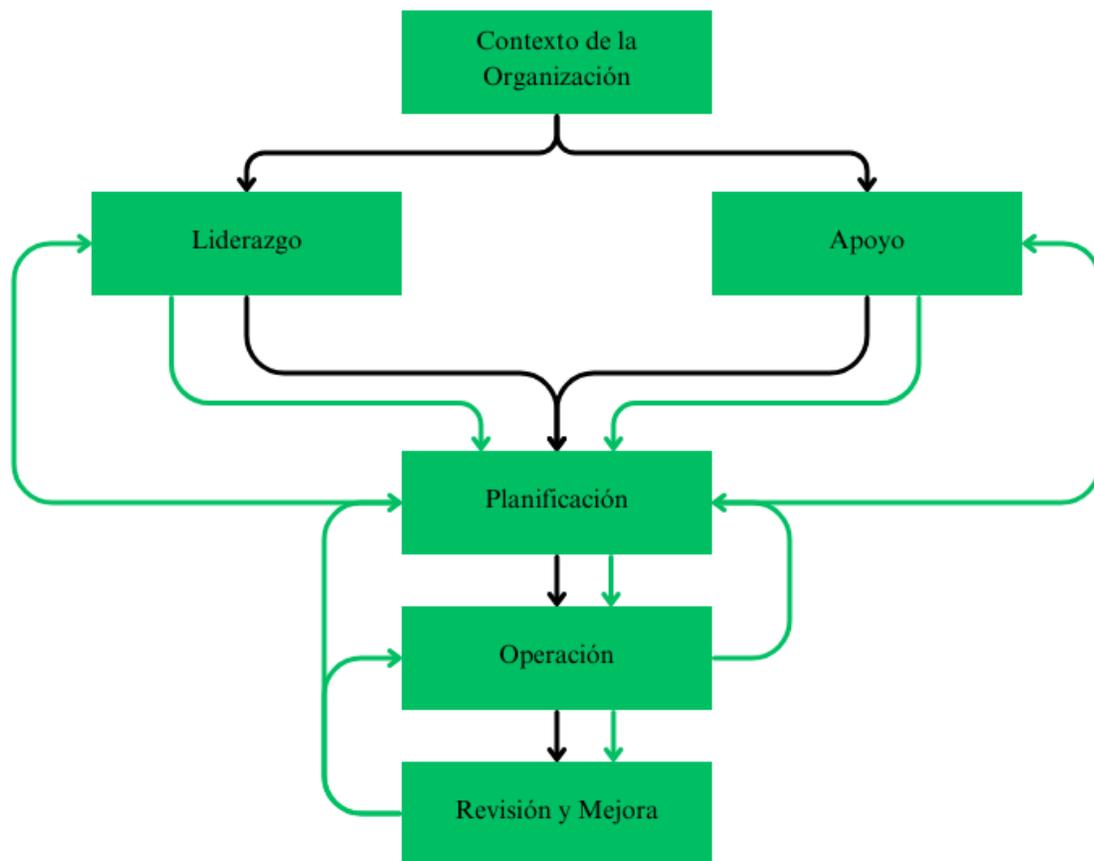


Ilustración 11 Relación entre las secciones del SGE, elaboración propia

En la sección *Resultados* se discute en profundidad los documentos emanados, sin embargo, es posible destacar algunas de las fuentes bibliográficas y métodos de obtención de análisis de la información en adición a la ya mencionada Guía [8]:

- Revisión de bibliografía legal [2] [3] [7] [15] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36], para comprobar los requisitos que rigen el SGE en la normativa vigente.
- Reuniones con la Dirección Económica y Administrativa de la Facultad, tanto para corroborar su interés para que formen eventualmente como “Alta Dirección” como para actuar como fuente de información relevante para el SGE: datos energéticos, métodos de mantenimiento, lógicas de control operacional, entre otros.
- Reuniones con la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, para ayuda con la recopilación de información energética relevante para el SGE, métodos de concientización de la comunidad y adaptación de trabajos ya realizados en el contexto de otras iniciativas a lo exigido por la normativa que rige los SGE.

- Utilización de métodos de priorización ya comentados anteriormente, para decidir y jerarquizar las medidas de eficiencia energética a sugerir.
- Utilización de la *Guía Metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión* [37], también publicada por la Agencia de Sostenibilidad Energética para establecer criterios y requerimientos de eficiencia energética en el diseño de proyectos.
- Utilización del *Instructivo de Aplicación de Criterios Sustentables en Compras de Bienes o Contratación de Servicios en Instituciones de Educación Superior* publicado por la Red Campus Sustentable [38] para el establecimiento de criterios de eficiencia energética en la compra de productos y contratación de servicios.

Resultados y Discusiones

Dada la metodología ya planteada, a continuación, se presentan los resultados emanados del proceso en cada una de las secciones correspondientes junto con su discusión asociada, explicando su importancia para el SGE y la mejora continua del mismo en el tiempo.

Actualmente no existe un SGE en la Facultad, no hubo datos que levantar de implementaciones pasadas, sin embargo, si se pudo levantar información respecto a:

- Consumos energéticos (electricidad y combustible) los años 2016 al 2022
- Auditorias Energética realizada el 2022.
- Registros de balances energéticos realizados el 2022
- Iniciativas de eficiencia energética
- Lineamientos actuales de reducción de consumo energético
- Políticas y otros lineamientos generales de eficiencia energética

Esta información fue invaluable para lograr cumplir con las actividades necesarias en cada uno de los requerimientos de la norma.

Contexto de la FCFM en el entorno de un SGE.

El objetivo de esta sección es lograr conocer en profundidad la institución y sus procesos, buscando entender completamente cómo se entrelazan sus usos y necesidades con el consumo energético.

Los documentos creados en el contexto de esta sección fueron los siguientes:

1. SGE-CON-001: Contexto de la organización
2. SGE-CON-002: Partes interesadas
3. SGE-CON-003: Corroboración de Requisitos Legales
4. SGE-CON-004: FODA
5. SGE-CON-005: Mapa de Procesos
6. SGE-CON-006: Análisis de Brechas

El documento central de la sección, *SGE-CON-001: Contexto de la Organización*, contiene toda la información relevante del análisis del contexto de la FCFM. Se estableció la importancia de la Facultad, no solo en un ambiente académico, sino que también como un agente para el cambio y mejoramiento social y cultural de nuestro país, donde no queda fuera la implementación de mejoras en su eficiencia energética.

Se pudo determinar que el consumo energético de la FCFM alcanzó un valor de 8.790.106 kWh (7,558 TCal) en el año 2022, abarcando los consumos de cinco medidores que corresponden a los

edificios Norte, Oriente y Poniente de Beauchef 851, así como los edificios Escuela, Química, Física, Justicia Espada, Civil-Geofísica, AMTC-Eléctrica y Geología de Beauchef 850.

Como en cualquier proyecto, el establecimiento de un SGE acarrea una serie de riesgos y oportunidades que no pueden dejar de ser analizados, para ello se realizó un análisis FODA encontrado en *SGE-CON-004: FODA*, el que también puede ser apreciado a continuación:

Tabla 5: FODA del SGE. elaboración propia

CUESTIONES INTERNAS	
Fortalezas	Debilidades
Docentes orientados al área energética	Falta de concientización en la comunidad
Centro de energía como motor de iniciativas de desarrollo sustentable	Complejidad de la instalación energética
Liderazgo y compromiso de Alta Dirección	Complejidad en estructura de la Facultad, cada departamento tiene la propia
CUESTIONES EXTERNAS	
Oportunidades	Amenazas
Cumplir con lo establecido con el APLII y la iniciativa Beauchef Cambio Climático	Cambio climático
Alcanzar la carbono neutralidad de aquí al 2050	Desviación de recursos hacia otras iniciativas
Seguir siendo reconocidos como vanguardia tecnológica e investigativa	Aumentos de costos energéticos
Postulaciones a fondos concursables y licitaciones que piden demostrar que la Universidad ha implementado medidas relacionadas a sustentabilidad	Regulaciones cambiantes en materia de eficiencia energética

Este análisis permite identificar la forma en que elementos externos e internos afectan el SGE, y entrega input para más adelante donde se estudia y planifica la forma de contrarrestar las amenazas y debilidades mientras se aprovechen las fortalezas y las oportunidades.

Las fortalezas se utilizan como base sobre la cual construir la sólida estructura del SGE, particularmente el liderazgo y compromiso de Alta Dirección será algo de extrema relevancia para el correcto funcionamiento del SGE. Las debilidades son factores que se atacarán directamente de una forma u otra a través de la planificación que será detallada más adelante, tratando de aprovechar al máximo las oportunidades que se pudieron identificar.

Las oportunidades vistas hablan de factores que se pretenden aprovechar en el desarrollo del SGE, siempre tratando de minimizar el efecto de las amenazas planteadas.

Otro elemento externo que considerar con el mismo propósito que lo planteado anteriormente, es comprender las necesidades y las expectativas de las partes interesadas en el SGE. Estas son muchas y diversas en su origen, variando desde el estudiantado hasta proveedores, y cada uno tiene un nivel de interés, impacto e influencia en el SGE que debe ser considerado en su planificación.

Tabla 6 Partes interesadas del SGE

Parte interesada	Área	Prioridad		
		Nivel de interés	Impacto	Influencia
Estudiantado	Comunidad	1	2	2
Docentes	Docencia/Investigación	1	2	1
Personal Administrativo	Administración	2	2	2
Personal de Mantenimiento	Administración	2	1	2
Proveedores de Energía	Administración	3	1	1
Alta Dirección	Administración	1	1	1
Ministerio de Educación	Externo	3	3	3
Ministerio de Energía	Externo	3	3	1
Agrupaciones internas de la universidad	Comunidad	2	2	2
Dirección Económica y Administrativa	Administración	1	1	1
Centro de Energía	Docencia/Investigación	2	2	1
Proveedores de otros servicios	Externo	2	2	2
Empresas Tecnológicas Colaboradoras	Externo	3	3	3

Entiéndase de manera cualitativa, que 1 es una alta prioridad, 2 una media prioridad y 3 una baja prioridad, elegida en función de la relevancia que las necesidades de estas partes tienen en la planificación del SGE. Es por eso por lo que, por ejemplo, la Dirección Económica y Administrativa es de extrema relevancia para este al ser el ente responsable de la correcta administración y ejecución del SGE. La labor de priorización es algo permanente durante el desarrollo del SGE, dado que se tienen recursos limitados para lograr mejorar lo más posible el desempeño energético de la Facultad.

Decantando lo anterior, se desprende la importancia de organismos gubernamentales en el SGE, dado que ya existen leyes, decretos y otros documentos que rigen aspectos que lo afectan directamente y otros que influyen en actividades de apoyo y mantenimiento de este. Para ello se crea el documento *SGE-CON-003: Corroboración de Requisitos Legales*, el cual contiene los documentos legislativos que se consideran de mayor importancia en el contexto del SGE con su respectivo seguimiento, incluyendo su tema, título legal, institución, requisito, responsable y verificador de cumplimiento.

La lista de algunos de los documentos legales considerados para el SGE, la que debe ser chequeada con regularidad para asegurar el cumplimiento con otras leyes y documentos que puedan surgir en el futuro, se entrega a continuación:

- Ley 21.305/2021 del Ministerio de Energía. Sobre Eficiencia Energética
- Decretos supremos 160/2008 y DS101/2013 Ministerio de Economía, fomento y reconstrucción. Reglamento de Seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos.
- Decreto supremo 10/2012 Ministerio de Salud. Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua
- Resolución Exenta 3/2017 Ministerio de Energía. Estándar mínimo de eficiencia energética para motores eléctricos de inducción trifásicos.
- Decreto supremo 108/2014 Ministerio de Energía. Reglamento de Seguridad para las instalaciones de almacenamiento, transporte y distribución de gas licuado de petróleo y operaciones asociadas
- Decreto Supremo 66/2007, del Ministerio de Economía. Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas.
- Decreto 8/2020, del Ministerio de Energía. Reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica.
- Decreto 594/2000, del Ministerio de Salud. Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo

Otro elemento de relevancia para el SGE es el establecimiento de los alcances de este. Se define el alcance del Sistema de Gestión Energética como *“(…) lo consumido por los edificios ubicados en Avenida Beauchef 850 y 851, particularmente los edificios Norte, Oriente, Poniente y Auditorio D’Etigny en 851, sumado a los subterráneos del mismo edificio. En 850 se considera el edificio Escuela, los edificios de Física e Ingeniería de Minas, Torre Justicia Espada, los edificios de Ingeniería Civil-Geofísica, Ingeniería Eléctrica-AMTC, Geología, y zonas comunes de ambos edificios Además, se consideran dentro de los alcances del SGE, todas las actividades educativas, investigativas, administrativas y recreacionales que se efectúen en estas instalaciones, abarcando*

tanto su consumo eléctrico como de combustibles, ya sea en las instalaciones o por los vehículos de la Facultad.”

El alcance del SGE es de alta importancia, dado que entrega el espacio bajo el cual serán definidas todas las actividades relevantes a la planificación, operación y mejora del desempeño energético de la Facultad.

Para completar el proceso de contextualizar la Facultad en el entorno del SGE, se realizó un mapa de procesos, el cual se encuentra en el documento *SGE-CON-005: Mapa de Procesos*, este resume de manera precisa los principales procesos que influyen en el SGE, asimismo permite identificar los puntos críticos que deben ser considerados en la mejora continua



Ilustración 12 Mapa de Procesos del SGE, elaboración propia

Se puede apreciar como de los requisitos del SGE emanan procesos estratégicos, que envuelven de manera general las actividades del sistema, y procesos de apoyo, que soportan y dan estabilidad a una estructura organizacional, para de esa forma poder desarrollar las actividades que se aprecian en el centro del cuadro. Todo esto, aporta a la mejora continua del SGE. Este Mapa de Procesos fue revisitado continuamente siguiendo el flujo de trabajo con feedback que fue comentado en la metodología, permitiendo aclarar e incluir todos los aspectos fundamentales del SGE.

Todos estos documentos permiten contextualizar adecuadamente la Facultad y sus procesos en relación con el SGE, el último documento relevante para esta sección es el de *SGE-CON-006: Análisis de Brechas*, el cual, como se dijo anteriormente, permite ver la relación entre el SGE como tal y lo requerido por la norma. Este alberga todas las cláusulas de la norma, la documentación

existente del SGE, la brecha que pueda ser identificada, el grado de cumplimiento y finalmente las acciones realizadas. Se definen los grados de cumplimiento del análisis a continuación:

1. No Cumple: no existe ninguna documentación o registro que permita determinar que se cumple el requerimiento, o el proceso existente no abarca ninguno de los puntos pedidos en la norma.
2. Cumple Parcialmente: existe alguna documentación que verifica un cumplimiento parcial de lo requerido en la norma y los procesos asociados muestran resultados que benefician la eficiencia energética.
3. Cumple: la documentación existente respalda los procesos que cumplen de manera completa y acabada que exige la norma.

Luego de determinar el estado de cumplimiento, se planteó a grandes rasgos cuál sería el plan de acción para lograr el cumplimiento del requerimiento. A continuación, se presenta un ítem de ejemplo del Análisis de Brechas:

Tabla 7 Fragmento de Análisis de Brechas, elaboración propia basado en [8]

Cláusula	Requisito ISO 50001	Documentación existente	Brecha	Cumplimiento	Acción
				1: No cumple	
				2: Cumple parcialmente	
				3: Cumple	
8.2	Diseño	No está documentado	No se consideran criterios de eficiencia energética en el diseño de proyectos	1	Crear criterios de diseño con eficiencia energética en mente

Este documento fue revisitado en varias ocasiones a lo largo del desarrollo de este trabajo, particularmente es destacable la comparación entre el análisis de brechas inicial y el final, ya que muestran de manera cuantitativa lo que se avanzó en la planificación del SGE, pese a que, como se verá más adelante, aún quedan algunos puntos pendientes. En este análisis, en el grado de cumplimiento un valor de 1 significa que no cumple el requerimiento, un valor de 2 que cumple parcialmente y un valor de 3 que cumple completamente acorde a lo explicado anteriormente. Teniendo eso en consideración se tiene la siguiente comparación entre el estado de la FCFM al comienzo del trabajo, y el cumplimiento que se tendría de ser implementado correctamente el diseño plasmado en este escrito:

Tabla 8 Diferencias en Análisis de Brechas entre comienzo y final del trabajo, elaboración propia

Cantidad		
Estado	Comienzo del trabajo	Diseño propuesto
No cumple (1)	18	0
Cumple parcialmente (2)	8	4
Cumple (3)	0	22
% Cumplimiento	15,4%	92,3%

Si bien se hubiera preferido cumplir el 100% de los requisitos de la norma, un porcentaje de cumplimiento superior al 90% se considera satisfactorio. En cada sección correspondiente se comentará cuáles fueron los puntos que quedaron pendientes para trabajos futuros.

El alzamiento de información fue uno de los mayores desafíos de esta sección; si bien se pudo obtener información de calidad en cuanto a materia energética se trata, que permitió contextualizar adecuadamente el la situación de la Facultad, debido a complicaciones logísticas no se pudo concretar reuniones con personal clave administrativo de la Facultad, particularmente con el área de iluminación y de climatización, lo que significó que la información de esas áreas no sea tan profunda como se desearía, complicando el desarrollo de fases posteriores de este trabajo, lo que hace que el cumplimiento del análisis de brechas no sea del 100%.

Esto no significa que no se pudieron realizar las actividades pertinentes de la guía, sino que se entregan lineamientos generales que quedan al debe de un mayor grado de especificidad para la realidad de la Facultad.

Liderazgo y compromiso de Alta Dirección

Ya fue establecido anteriormente la gran importancia de Alta Dirección en el desarrollo de un SGE, en este caso representada por la Dirección Económica y Administrativa, la cual desde el comienzo demostró un compromiso completo con el proyecto, el cual tiene que seguir manteniéndose en el tiempo para lograr propiciar las condiciones para la comprensión, desarrollo de metas y objetivos, revisión y por supuesto, proporcionando los recursos y el apoyo necesario para alcanzarlos.

Por otro lado, existe el Equipo de Gestión Energética, encargado de apoyar, implementar, controlar y velar por el cumplimiento del Sistema de Gestión Energética en todas sus facetas. La relación, organización, labores del Liderazgo del SGE y a la Política Energética que engloba todo el SGE se definen en los siguientes documentos:

1. SGE-LID-001: Liderazgo en el SGE
2. SGE-LID-002: Política Energética de la FCFM

Plasmados en *SGE-LID-001: Liderazgo en el SGE* están las funciones y responsabilidades de la Alta Dirección, que se detallan a continuación:

- Velar por el establecimiento de objetivos y metas energéticas, apropiados a la organización y compatibles con la dirección estratégica
- Revisar y corroborar la integración del SGE al funcionamiento de la Facultad
- Asegurar la aprobación e implementación de los planes de acción
- Proporcionar los recursos necesarios, de carácter humano, técnico y/o financiero para mantener y asegurar la mejora continua del SGE
- Comunicar debidamente la importancia del SGE y la eficiencia energética como tal
- Designar el equipo de gestión de la energía
- Realizar revisiones periódicamente para identificar y abordar los cambios relevantes para el SGE

En el mismo documento es posible encontrar la conformación de cargos que componen al Equipo de Gestión de Energía, cuyos roles y responsabilidades, además del organigrama, y el organismo de la facultad del que dependen, se detallan a continuación:

- Líder del SGE – Dirección Económica y Administrativa
 - Liderar el equipo de gestión energética en toma de decisiones relevantes al SGE
 - Revisar la correcta implementación y mejora continua del SGE
 - Analizar el desempeño energético del SGE e informar a la Alta Dirección
 - Liderar la revisión periódica de procesos, operaciones y procedimientos relevantes al SGE
 - Establecer y revisar los criterios y métodos necesarios de control del SGE
 - Plantear y planificar planes de acción que permitan la mejora continua del SGE
 - Planificar y liderar las auditorías internas del SGE
- Líder de Operaciones – Administrador de Campus
 - Asegurar la correcta operación y ejecución de procedimientos de control operacional acorde a lo establecido por el SGE
 - Analizar desviaciones significativas en los procedimientos
 - Detectar e informar posibles fuentes de mejora

- Implementar criterios de operación
- Líder de Mantenimiento – Administrador de Campus
 - Instalación y calibración de equipos de medición de la energía
 - Coordinar y ejecutar mantención que permita que los equipos funcionen en parámetros adecuados
 - Implementar y comunicar planes y criterios de eficiencia energética a los funcionarios de mantenimiento
 - Detectar e informar posibles fuentes de mejora
- Líder de área Legal – Unidad Jurídica
 - Corroborar y actualizar los requisitos legales relevantes al funcionamiento del SGE
- Líder de Proyectos – Oficina de Arquitectura y Administración de Campus
 - Implementar y verificar criterios de eficiencia energética en la concepción y diseño de nuevos proyectos
 - Implementar y verificar la aplicación de los criterios en la compra de componentes para ser utilizados en los proyectos
- Líder de Compras – Oficina Administrativa
 - Implementar y revisar la aplicación de criterios de eficiencia energética en la compra de productos y contratación de servicios
- Líder de Comunicaciones – Subdirección de Comunicaciones
 - Comunicar y difundir hacia la comunidad información relevante al funcionamiento del SGE, como las y los integrantes del equipo de gestión energética, política energética, nuevos proyectos, entre otros.
 - Comunicar y difundir de manera clara, oportuna y reiterativa la importancia de la eficiencia energética y la función del SGE dentro de la misma.
 - Propiciar una toma de conciencia generalizada en la comunidad
- Líder de Capacitación – Recursos Humanos
 - Planificar e implementar planes de capacitación que concienticen al personal en materias energéticas y otras de relevancia para el SGE

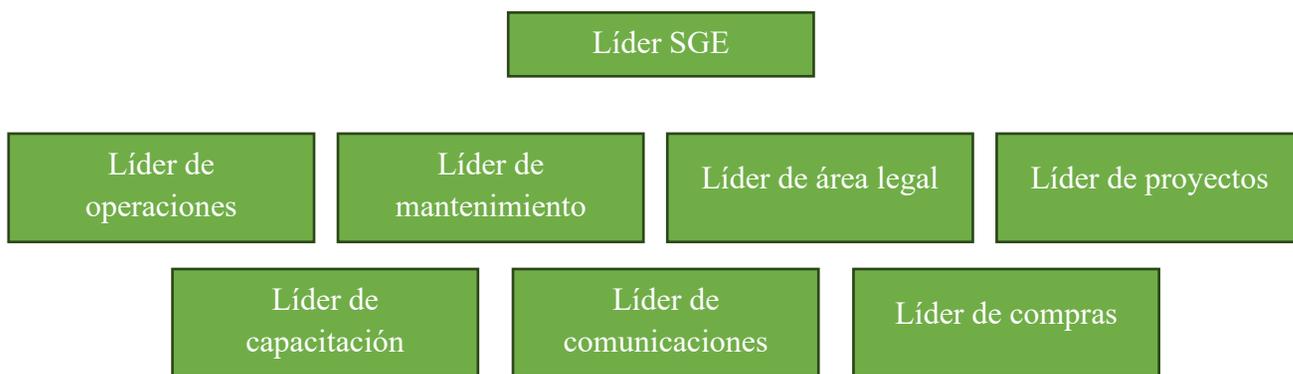


Ilustración 13 Organigrama Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia

El planteamiento de las labores de cada uno de los cargos fue uno de los factores que más se vio influenciado por la metodología iterativa del diseño, permitiendo retroactivamente cambiar y afinar detalles que permitieron que los deberes fueran los adecuados y suficientes para que se logre cumplir lo planteado en las secciones posteriores del SGE.

El área de la facultad a la cual responde cada uno de los cargos fue elegida de tal forma que tengan una integración orgánica con los sistemas ya establecidos en la Facultad.

En la misma área, en el documento *SGE-LID-002: Política Energética*, fue redactada una declaración de intereses que permite entregar un lineamiento general de cómo la FCFM se hará responsable de la gestión de su energía y de promover prácticas energéticamente eficientes en toda la comunidad. Al interior de esta se considera realizar un uso eficiente de la energía, generar una mejora continua del desempeño energético y otras aristas claves para el desarrollo energético de la Facultad.

Si bien este documento parece simple, es tremendamente importante ya que manifiesta la intención de reconocer la sustentabilidad y la eficiencia energética como un pilar fundamental del desarrollo humano, comprometiendo a la Facultad, entre otras cosas, a hacer un uso eficiente de la energía, generar mejora continua de su desempeño energético y promover líneas de investigación en materias energéticas, lo que va más allá de la implementación del SGE, habla de un compromiso integral con un futuro más sustentable, y directamente batallar el cambio climático. Es por eso por lo que se determinó que esta política energética, una vez aprobada, debe ser comunicada de manera pública y divulgada ampliamente en todas las áreas de la organización y a las partes interesadas, de modo tal que se demuestre el compromiso de la Alta Dirección de la Facultad frente a sus colaboradores y pares de otras instituciones de educación superior. Por lo tanto, esta política comprometería a la FCFM a:

- Hacer un uso eficiente de la energía en todas sus instalaciones y áreas de operación
- Asegurar la disponibilidad de información referente a la energía y su gestión en la Facultad.
- Generar una mejora continua del desempeño energético de la Facultad.
- Promover un cambio de conciencia en toda la comunidad.

- Introducir elementos de eficiencia energética de manera transversal al diseño y evaluación técnico-económica de proyectos, compra de equipos y contratación de servicios.
- Promover líneas de investigación, desarrollo e innovación en los ámbitos de eficiencia energética.
- Cumplir con los requisitos legales aplicables legales aplicables y otros requisitos relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y consumo de la energía.
- Introducir programas de formación que desarrollen competencias referentes al uso eficiente de la energía

Planificación Energética

La Planificación Energética es una parte fundamental del SGE, ya que utiliza la información de entrada de lo ya establecido en secciones anteriores del SGE, y de esta emanan procedimientos, metodologías y controles que permiten mejorar el desempeño energético del sistema. Los documentos de esta sección son los siguientes:

1. SGE-PLA-001: Planificación Energética del SGE
2. SGE-PLA-002: Línea Base Energética
3. SGE-PLA-003: Riesgos y Oportunidades del SGE
4. SGE-PLA-004: Planes de Acción
 - a. SGE-PLA-004.1: Remarcadores
 - b. SGE-PLA-004.2: Reducción de Malas Prácticas
 - c. SGE-PLA-004.3: Fomento de Desarrollo Académico
 - d. SGE-PLA-004.4: Estudio e Implementación de IDE

El documento central de la sección, *SGE-PLA-001: Planificación Energética del SGE*, especifica la forma en que cada uno de los documentos de la sección influye en la Facultad, el proceso de diseño de los planes de acción y datos importantes relacionados con la Revisión Energética y su análisis, la metodología de establecimiento de los Indicadores de Desempeño y finalmente el proceso de creación de Líneas Base Energéticas.

El primer paso de la planificación energética emana de las acciones para abordar los riesgos y oportunidades en el documento *SGE-PLA-003: Riesgos y Oportunidades del SGE*, los cuales ya fueron identificados en secciones anteriores del SGE para cada riesgo y oportunidad la probabilidad de ocurrencia, consecuencia, categorización del riesgo (en tolerable y no tolerable), dar lineamientos de un plan de acción y como será evaluada su eficacia.

De vital importancia fue la categorización del riesgo, la que puede ser Tolerable o No tolerable, acorde a lo siguiente:

- **Riesgo Tolerable:** Se refiere a los riesgos que, aunque pueden existir, son aceptables dentro de los límites establecidos por la Facultad. Estos riesgos pueden ser gestionados y controlados eficazmente con los recursos disponibles y no representan una amenaza significativa para los objetivos o la seguridad de la Facultad universitaria.
- **Riesgo No Tolerable:** Son aquellos riesgos que exceden los límites aceptables y que pueden tener un impacto adverso significativo en la Facultad universitaria si no se gestionan adecuadamente. Estos riesgos requieren una acción inmediata para mitigar su impacto o para evitar que se materialicen.

Esto se encuentra entrelazado con lo identificado en el FODA, y los puntos establecidos en el documento *SGE-PLA-003* sirvieron como base para los posteriores planes de acción y controles operacionales pertinentes.

La realización de una planificación energética no es exclusiva para los propósitos del SGE; también estuvo considerado dentro del desarrollo del APL II [39] y fue desarrollado por la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad de la FCFM. Esta planificación sirvió de base para poder ajustarse a los requerimientos establecidos por la norma ISO50001.

Este ajuste fue necesario dado que los requerimientos de la norma difieren a lo pedido por el APL II [9] [39], en el SGE se solicita que los objetivos estén asociados con metas claras y medibles de manera numérica, con actividades claras y definidas y un método de verificación que sea apropiado a cada uno de los objetivos planteados, lo cual difiere de los requisitos más cualitativos y generales del APL.

Dado eso, se establecieron objetivos primero, en cuanto a la instalación de remarcadores eléctricos en la Facultad que permitan analizar de manera más eficaz el consumo de la misma, segundo, reducir las malas prácticas energéticas mostradas por la comunidad universitaria en cualquiera de sus estamentos, tercero, fomentar el desarrollo académico de cursos y trabajos de título relacionados con la eficiencia energética y la sustentabilidad, y cuarto, el estudio e implementación de Indicadores de Desempeño relevantes para el funcionamiento de la Facultad.

Estos objetivos permiten atacar tres frentes energéticos distintos; los remarcadores y la implementación de Indicadores de Desempeño atacan la dificultad existente para la obtención de información en una Facultad tan compleja estructural y organizacionalmente hablando como lo es la FCFM, pudiendo disgregar los consumos para luego facilitar la toma de decisiones y la correcta implementación de medidas de eficiencia energética más detalladas. El segundo frente es el de la toma de conciencia, mediante la búsqueda de reducir las malas prácticas que se pueden identificar al interior de la Facultad, como dejar los computadores encendidos, uso de calefacción a temperaturas más bajas o altas que las recomendadas o derechamente usarlos pese a la ya existencia de clima centralizado. El último frente es el de la investigación, buscando fomentar los cursos y trabajos de título en materias energéticas y sustentabilidad se va a abrir la puerta a estudiantes y docentes que estén interesados en esta área, y que por diversos motivos no hayan podido trabajar en ella anteriormente.

Hay que tener en consideración la forma en que fueron definidos los parámetros relevantes a los objetivos energéticos:

- Entiéndase por “objetivos energéticos” ideas claras de planes que tiene la Facultad para mejorar su desempeño energético.
- Entiéndase por “meta energética” la cantidad verificable y cuantificable de cambio que se busca alcanzar con el objetivo.
- Entiéndase por “actividades” los pasos a seguir para cumplir el objetivo energético planteado.
- Entiéndase por “método de verificación” la forma cuantificable y controlable en la cual se verificará que el objetivo se ha cumplido.

En base a eso se detallan los objetivos energéticos ya comentados anteriormente:

Tabla 9 Objetivos Energéticos del SGE, elaboración propia

N°	Objetivo	Metas	Actividad	Método de verificación
1	Implementar mecanismos de medición periódica del consumo energético.	Instalación de remarcadores que cubran al menos el 50% de los medidores de los edificios de Av. Beauchef 850 y 851 en un periodo de un año.	Instalación de remarcadores en cada uno de los edificios establecidos en los alcances del SGE.	Seguimiento de los datos entregados por los remarcadores que permitan tener más información respecto al consumo energético dividido por áreas.
2	Reducir las malas prácticas energéticas con particular énfasis en los USE	Reducir en al menos un 50% en un periodo de un año las instancias en las que se detecte una mala práctica energética dentro de la comunidad, como dejar luces o computadores encendidos, ventanas abiertas junto con aire acondicionado funcionando, entre otras	Realización de charlas informativas del SGE y sus directrices, aplicación del plan comunicacional del SGE para aumentar la información disponible a la comunidad	Chequeo aleatorio de zonas utilizadas por funcionarios y/o estudiantes donde sea más probable encontrar malas prácticas (oficinas, salas de estudio, CEC). Encuestas aleatorias para corroborar el conocimiento de la comunidad respecto al SGE.
3	Impulsar el desarrollo educativo en materias de	Promover al menos un trabajo de título de pre o postgrado al año en materias energéticas y/o de	Promoción de cursos mediante U-Cursos y medios de comunicación	Chequeo de la existencia de los cursos y trabajos de título en U-Campus

	gestión y eficiencia energética.	sustentabilidad. Realización de al menos un curso al semestre con al menos 10 estudiantes con un foco en la eficiencia energética y/o la implementación y mejora de SGE.	típicos del departamento responsable del curso.	
4	Estudiar e implementar Indicadores de Desempeño Energético	Establecimiento de al menos un IDE en el periodo de un año	Estudios de Línea Base Energética, utilización de remarcadores por área y otra información de input, como la cantidad de alumnos o funcionarios, para el establecimiento de IDEs relevantes	Establecimiento de IDEs en la sección correspondiente del SGE. Seguimiento y control pertinente de los mismos.

Es importante destacar que para tener un mayor desarrollo y estudio técnico-económico de cada uno de estos objetivos se crea el documento *SGE-PLA-004: Planes de Acción*, el cual es un formato para estudiar adecuadamente los objetivos ya definidos y los que eventualmente se sumen al SGE. Este documento presenta 3 páginas, la primera de ellas es un resumen del plan de acción del objetivo, respondiendo a las preguntas de *¿Qué será hecho?*, *¿Qué recursos serán necesarios?*, *¿Quiénes serán los responsables?*, *¿Cuándo se considerará completado?* y *¿Cómo se evaluarán los resultados?* Estas respuestas deben ser un reflejo de lo ya presentado en esta planificación y lograr alcanzar un nivel de detalle tal que permita tomar decisiones adecuadas y la debida ejecución de los trabajos.

Luego de eso, el documento se divide en las secciones “*administrativa*”, la cual incluye todos los datos referentes a responsables, plazos, hitos, Carta Gantt tentativa y métodos de revisión, y “*técnica-económica*”, que incluye itemizado y listado de documentos. Esto permite desglosar en el detalle que sea necesario los aspectos relevantes del objetivo para poder cumplir con lo mencionado en el párrafo anterior.

Es esencial que estos documentos sean actualizados de manera pertinente a medida que se avanza en la implementación o se determinan cambios significativos en los objetivos planteados.

Estos son sólo el comienzo para impulsar el funcionamiento del SGE hacia adelante, y deben ser debidamente evaluados con el paso del tiempo además de estudiar e implementar otros objetivos que permitan continuar el proceso de mejora continua.

Otro factor importante dentro de la planificación energética corresponde a la Revisión Energética, esta también fue desarrollada en el contexto del APL II por la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad [40] y fue un input fundamental en el desarrollo del SGE. El análisis de esta permite realizarse una idea clara de los consumos energéticos de la Facultad y desarrollar trabajos fundamentales para el cumplimiento de los requisitos del SGE.

Se plantea que para el SGE se chequee la Revisión Energética anualmente; modificando los parámetros acorde a los tiempos de uso reales que se hayan visto durante el año para poder identificar los cambios que se generaron durante el mismo, y tiene que realizarse una nueva revisión energética cada 5 años que permita analizar en profundidad el estado energético de la Facultad.

La última revisión energética elaborada es del año 2022 [40], incluyendo los sectores del Edificio Norte, Oriente y Poniente de Beauchef 851; y los edificios Escuela, Física, Química, Civil-Geofísica, AMTC-Eléctrica, Geología y Torre Justicia Espada de Beauchef 850.

Se recomienda leer a cabalidad la revisión energética, sin embargo, como principales conclusiones se pueden observar el uso de energía por actividad en la Ilustración 14 y por edificio en la Ilustración 15, de estas se puede apreciar la preponderancia de la climatización y la iluminación en el consumo energético.

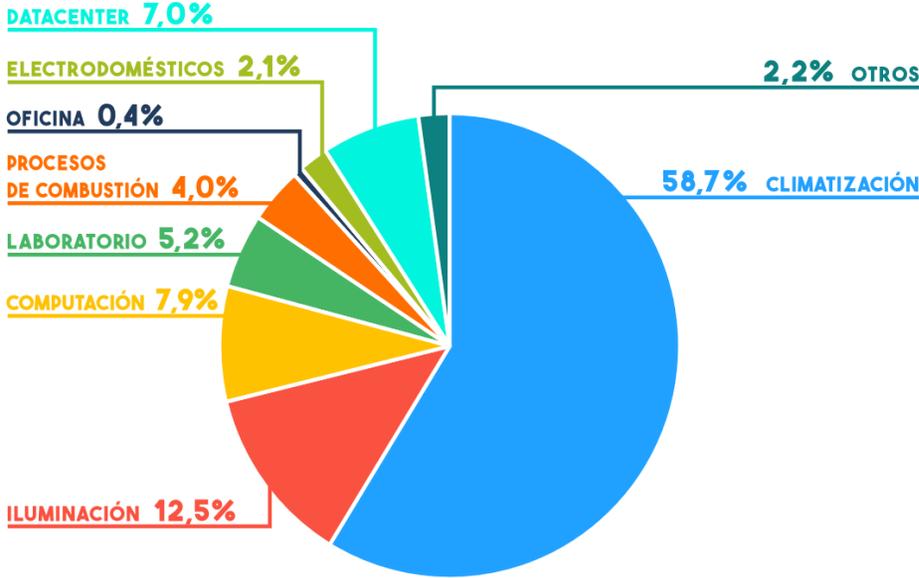


Ilustración 14 Uso de Energía en la FCFM por Actividad, año 2022 [40]

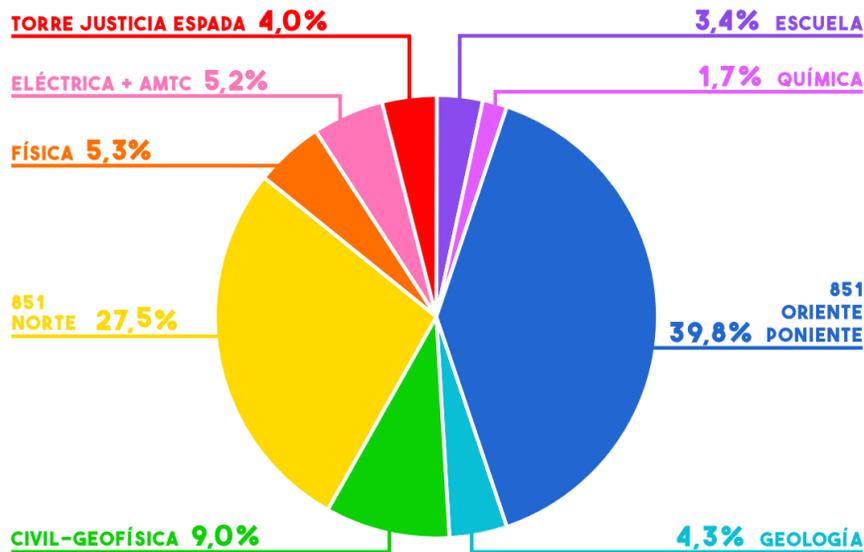


Ilustración 15 Uso de Energía en la FCFM por Edificio, año 2022

Además, el diagrama de Sankey de la Ilustración 16 muestra como el consumo energético de la Facultad se encuentra principalmente concentrado en la electricidad, siendo los combustibles fósiles un porcentaje bajo en comparación.

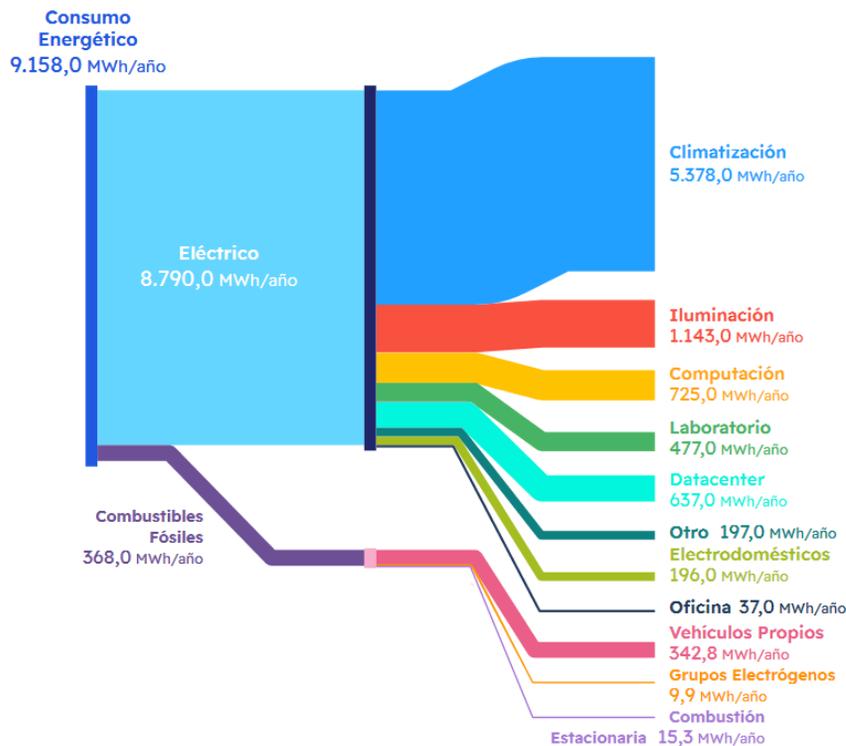


Ilustración 16 Diagrama Sankey del Consumo Energético de la Facultad [40]

El alto consumo producto del área de climatización es algo que llama la atención, lamentablemente no se tiene acceso a la información disgregada para saber de qué forma está dividido este consumo entre las diversas fuentes de clima, ya que se incluye el centralizado de la Facultad, el agua caliente para la piscina y duchas del recinto, además de la climatización necesaria para que el Datacenter funcione adecuadamente. Tener acceso a esta información significaría poder establecer medidas de eficiencia energética con más especificidad.

Este alto consumo en climatización se ataca principalmente mediante los controles operacionales que serán detallados más adelante, además de los ya mencionados métodos para buscar una toma de conciencia generalizada.

Gracias a esta revisión, se pudo determinar los Usos Significativos de Energía de la Facultad, el cual se realizó mediante un análisis de Pareto. La identificación de estos USE permite realizar posteriormente un trabajo de priorización de medidas de eficiencia energética. En la Tabla 10 se puede observar los consumos energéticos ya descritos anteriormente y su consideración como USE o no, además del diagrama de Pareto respectivo del análisis realizado.

Tabla 10 Usos Significativos de Energía de la FCFM, elaboración propia

Descripción del uso de la energía	Fuente de energía	Consumo [MWh/año]	% total	Potencial de mejora	Significativo
Climatización	Electricidad	5.378,0	58,7%	Medio	Si
Iluminación	Electricidad	1.143,0	12,5%	Bajo	Si
Computación	Electricidad	725,0	7,9%	Medio	Si
Datacenter	Electricidad	637,0	7,0%	Bajo	No
Laboratorio	Electricidad	477,0	5,2%	Bajo	No
Vehículos propios	Combustibles fósiles	342,8	3,7%	Bajo	No
Otro	Electricidad	197,0	2,2%	Bajo	No

Electrodomésticos	Electricidad	196,0	2,1%	Alto	No
Oficina	Electricidad	37,0	0,4%	Alto	No
Combustión estacionaria	Combustibles fósiles	15,3	0,2%	Medio	No
Grupos electrógenos	Combustibles fósiles	9,9	0,1%	Bajo	No

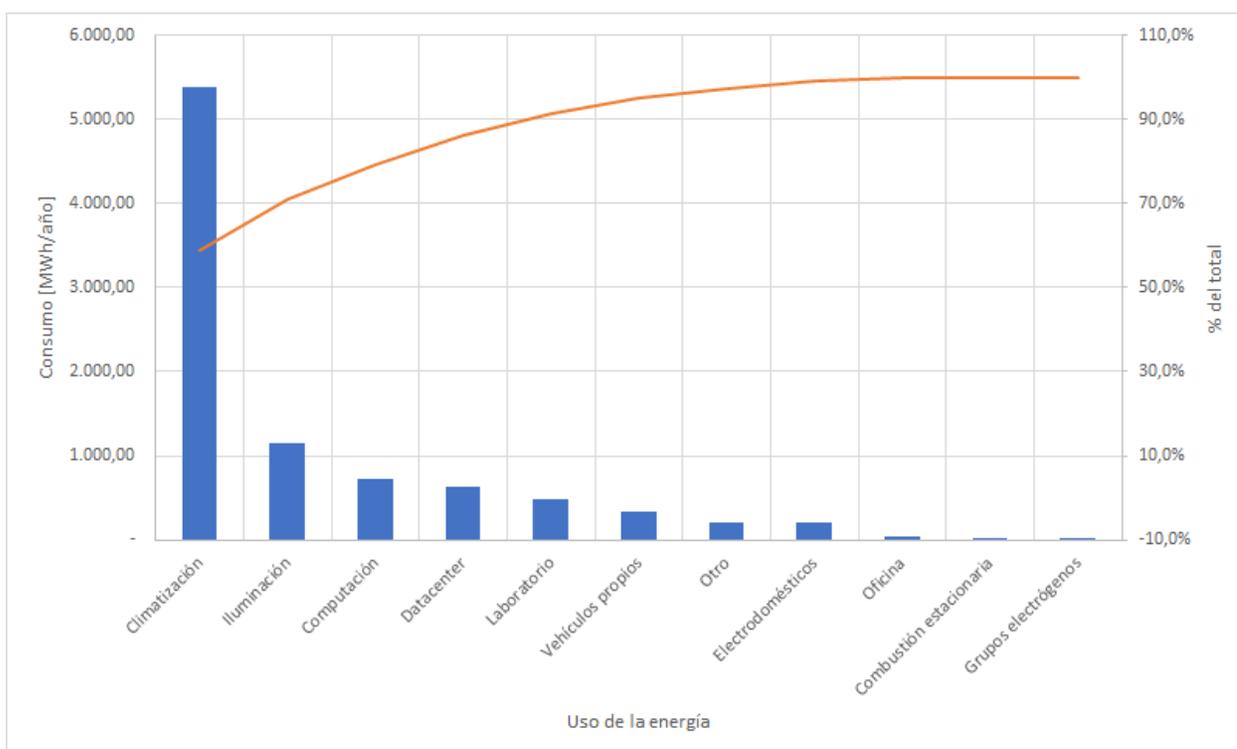


Ilustración 17 Diagrama de Pareto del Consumo Energético de la Facultad, elaboración propia

Se puede apreciar que se definen como USE la climatización, la iluminación y la computación. El potencial de mejora se establece basado en los análisis previamente realizados para el SGE.

Una de las medidas que se suelen tomar en contextos como el del SGE, es el cambio de luminaria tradicional por la LED, lo cual fue realizado en los contextos del SGE de la Universidad de Talca y la UTEM [11] [24], sin embargo, esta es una medida que se está realizando al momento de la realización de este trabajo de título, por lo que el estudio y análisis de esta medida terminaría siendo

redundante y se consideró que no es necesario. Es por eso que, con los objetivos energéticos ya mencionados, se ataca más la climatización, el conocimiento de la energía gastada para gestionarla adecuadamente, y reducir las malas prácticas para disminuir el consumo de computación.

Subsecuentemente, se deben desarrollar los Indicadores de Desempeño y la Línea Base Energética para ser aplicados en el SGE. Además de lo ya establecido en la Guía [8] y la norma ISO50001:2018 [9], la norma ISO50006 respecto a IDE y LBE [16] es fundamental al momento del establecimiento de estos parámetros. Sin embargo, existió una gran complicación; debido a la inexistencia información dividida en detalle, y la ausencia de remarcadores que permitan, por ejemplo, determinar el consumo energético para cada edificio por separado, sumado al uso no exclusivo de las instalaciones de cada departamento (por ejemplo, en el edificio de geología se realizan clases y actividades de alumnos de toda la escuela, no solo de geología), se hizo imposible la implementación de los IDE típicos de IES, como $\frac{kWh}{alumno}$, $\frac{kWh}{funcionario}$, $\frac{kWh}{departamento}$ u otros similares.

Otro factor que influencia esta dificultad es que los medidores eléctricos actualmente presentes abarcan más de un departamento por vez, de lo visto en la Revisión Energética y particularmente de la Ilustración 15, al mezclar departamentos (por ejemplo, el medidor de 851 Oriente y Poniente abarcaría los departamentos de Industrias, Mecánica, parte del DCC, IQBM y Materiales) se dificulta la tarea de identificar de manera precisa qué exactamente produce el alto consumo de este medidor, y con ello la implementación de IDE relevantes y medidas de eficiencia energética específicas.

No se pudo encontrar una manera directa de introducir IDE que no dieran la misma información que simplemente el consumo directo del edificio puede dar, de este suceso nace la necesidad de establecer como objetivo de la planificación energética la instalación de remarcadores en los edificios. Esto se discute en más detalle en el documento *SGE-PLA-004.1: Remarcadores*, sin embargo, lo más destacable es que permitiría identificar fácilmente que edificios (y con eso, que departamentos) consumen más energía, eventualmente pasando a instalar remarcadores *por piso* que permitan identificar de manera cada vez más precisa los consumos energéticos de la Facultad para poder gestionarlos adecuadamente.

Sin embargo, si es posible identificar factores que son influyentes en el consumo energético, entre ellos es posible encontrar la temperatura ambiente, temperatura configurada de los equipos de climatización y sus tiempos de uso. Estas 3 aristas son atacadas más adelante mediante el control operacional que también forma parte del SGE. Lamentablemente dado lo anterior, no fue posible identificar una variable independiente que dominara el consumo energético de la Facultad, y, por ende, tampoco fue posible establecer las Líneas Base Energéticas asociadas a los IDE. Sin embargo, fue posible al menos trazar un atisbo de LBE del consumo general de la Facultad mediante los datos energéticos alzados en etapas anteriores, lo que se puede apreciar en la Ilustración 18, Ilustración 19 e Ilustración 20.

Viendo primero la Ilustración 18, se vuelve a apreciar lo antes comentado; la climatización representa un porcentaje significativo dentro del consumo. Sin embargo, algo que comparten todos los consumos energéticos es su constancia a lo largo del año; no se manifiesta ninguna correlación clara con los meses del año o con la temperatura ambiente que pueda haber a lo largo de este.

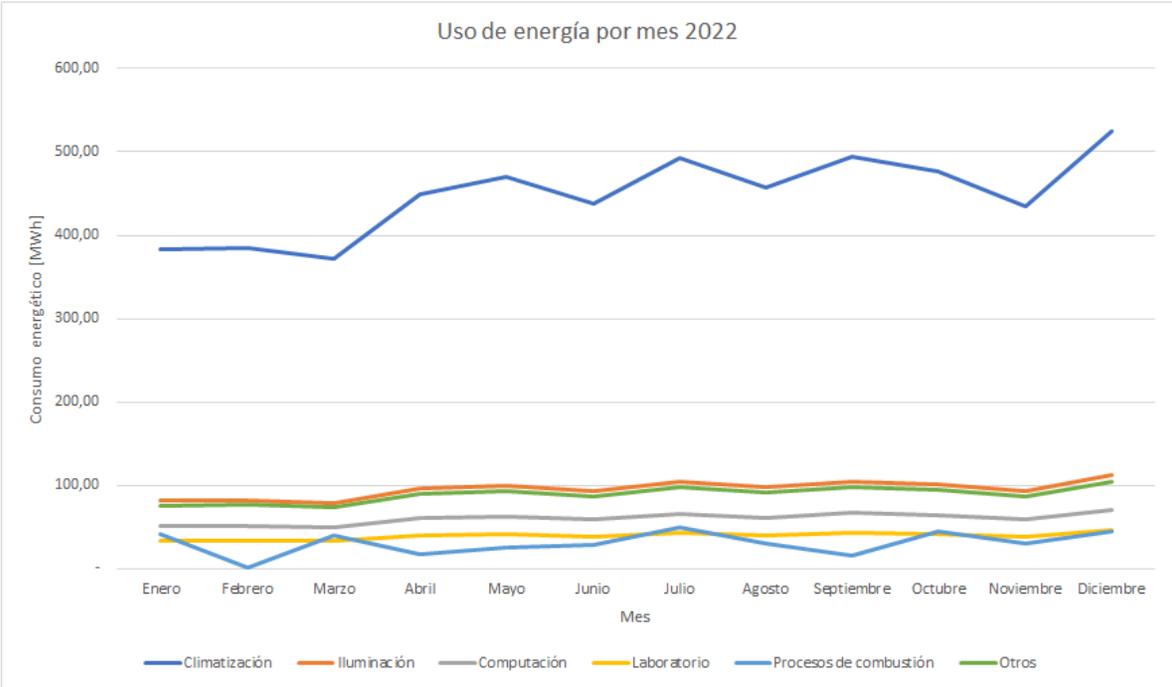


Ilustración 18 Uso de Energía por mes, año 2022, elaboración propia

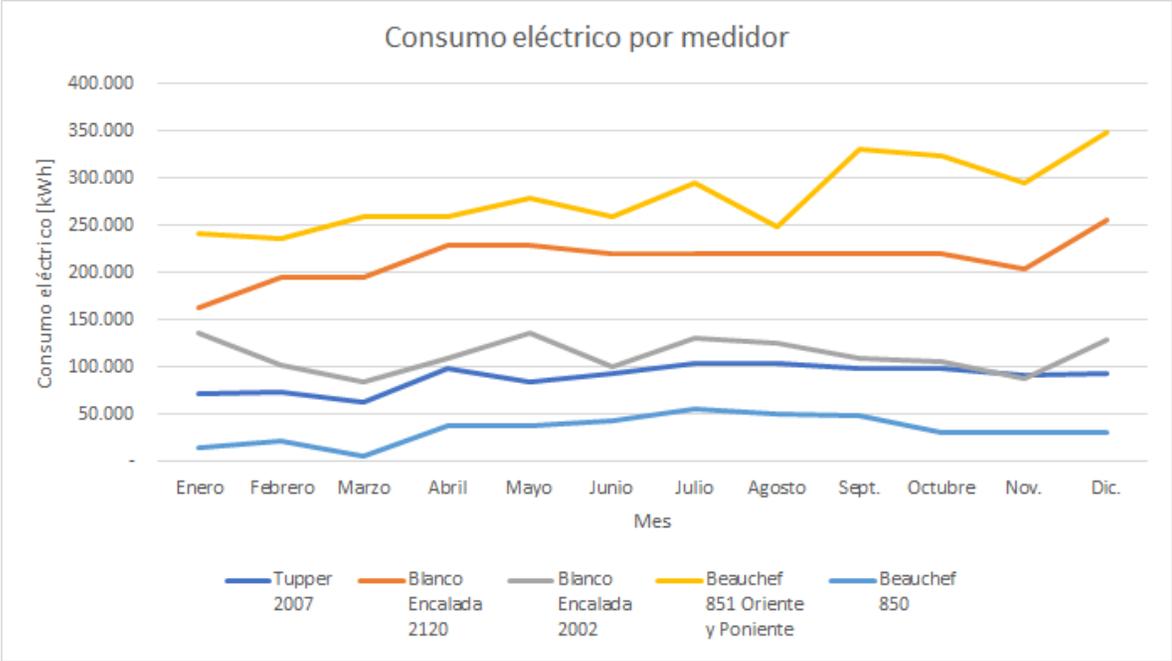


Ilustración 19 Consumo Eléctrico por medidor, año 2022, elaboración propia

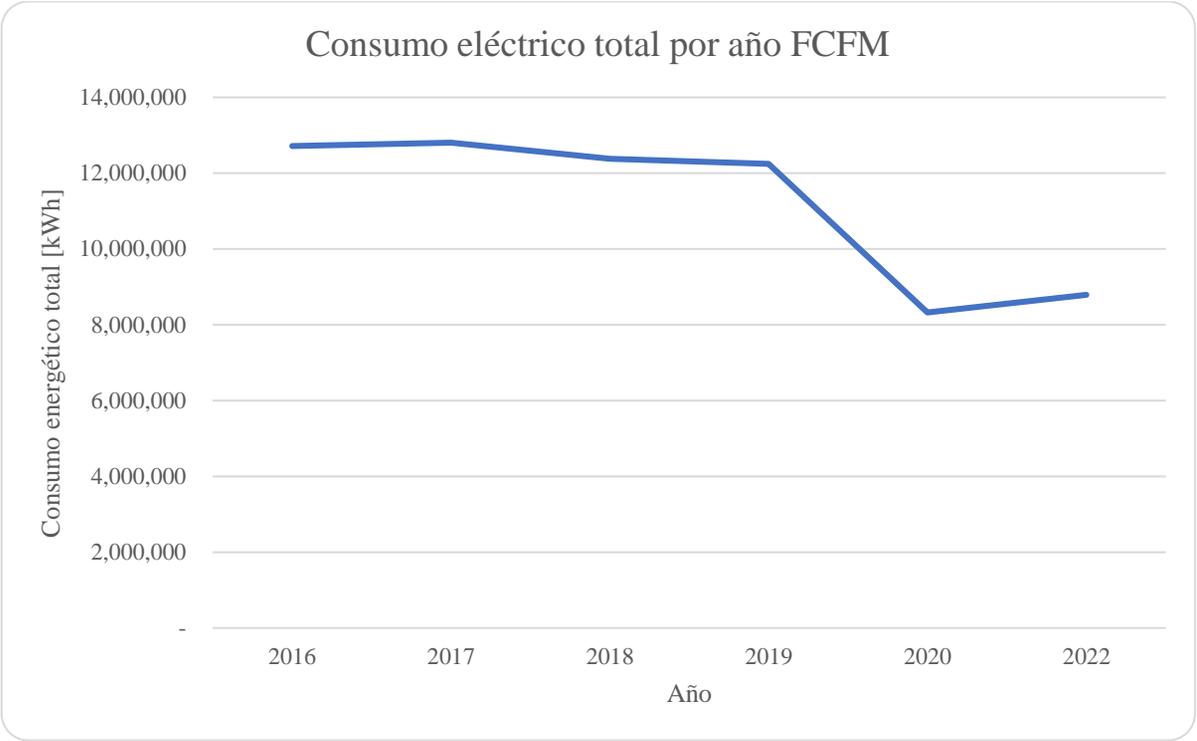


Ilustración 20 Consumo Energético total por año, elaboración propia

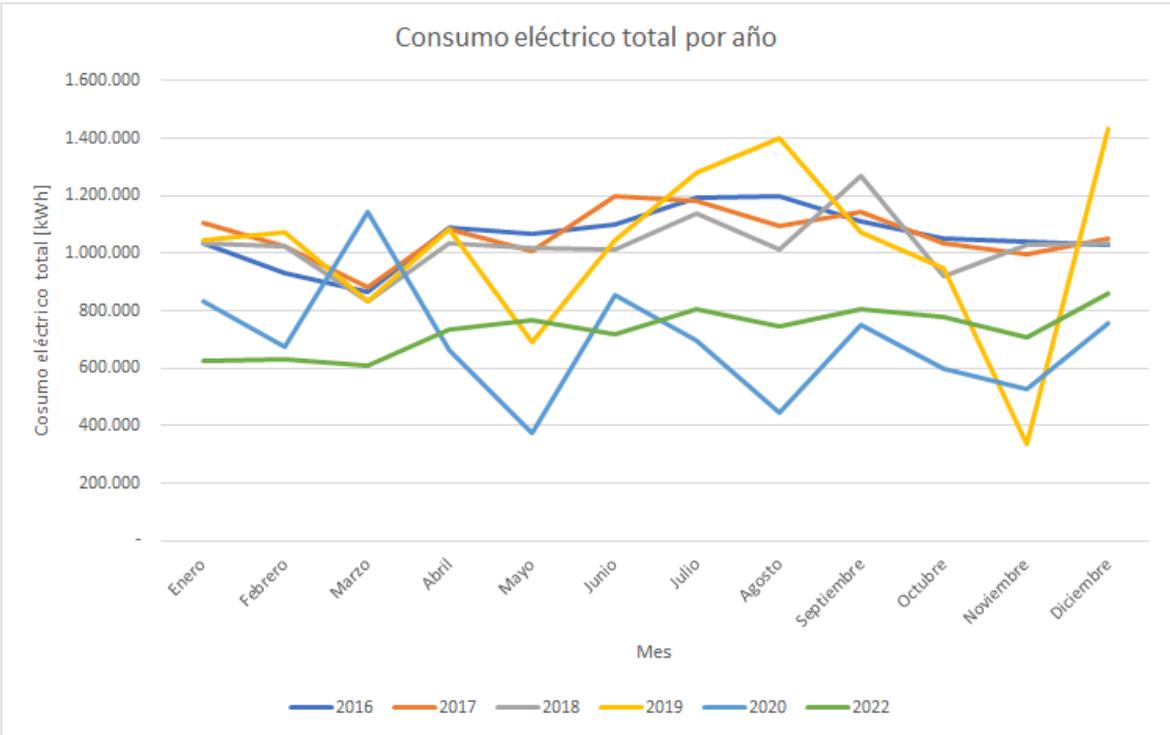


Ilustración 21 Consumo eléctrico total por año, elaboración propia

La misma tendencia constante se puede apreciar en la Ilustración 19, esta vez dividido por los 5 medidores que componen ambos edificios de la Facultad. Nótese que Beauchef 851 Oriente y Poniente y Blanco Encalada 2120 (que corresponde a Beauchef 851 norte) son los medidores con más consumo, se cree que esto es debido a la constante climatización de estos espacios y a la presencia del Datacenter.

Finalmente, en la Ilustración 20 se puede ver cómo ha ido evolucionando el consumo total anual de la Facultad, siendo bastante constante durante los años 2016 a 2018, para luego tener una clara baja en los años posteriores. Se cree que esto es debido al comienzo del proyecto de cambio de luminaria hacia finales del 2019.

En la Ilustración 21 se aprecia como, salvo ciertas excepciones, la constancia del consumo eléctrico es transversal entre los años en estudio. Una gran excepción a esto es en noviembre del 2019, producto del estallido social, y las grandes fluctuaciones durante el 2020 producto de la pandemia del COVID-19 que significaron profundos cambios en el funcionamiento de la Facultad. Sin embargo, en todos estos gráficos se puede apreciar que el consumo de energía eléctrica de la Facultad no tiene correlación relevante con ninguna variable independiente que se utiliza comúnmente en este tipo de análisis. Esto suma a la necesidad de instalar remarcadores energéticos en la Facultad, permitiendo así que se pueda disgregar el consumo energético y de esa forma analizar de manera más específica el comportamiento de la Facultad, estableciendo IDE relevantes y manteniendo constante el proceso de mejora continua.

Es importante recalcar que la Ilustración 21 fue realizada utilizando datos entregados por los medidores de consumo eléctrico de la Facultad. Dada la contingencia nacional durante la pandemia, fue recurrente que no se tomara la medida de manera continua durante los meses, haciendo que, por ejemplo, se acumule en un mes el consumo de dos meses contiguos. Esto, junto con lo ya comentado en el párrafo anterior, da lugar al comportamiento errático del consumo eléctrico durante esos años.

Finalmente, en esta sección se pudo completar en su mayoría lo exigido por la Guía, sin embargo, dada la imposibilidad de establecer IDE y LBE no se pudo llevar a su completitud. A pesar de lo anterior, los otros aspectos requeridos si fueron diseñados de manera adecuada para facilitar las siguientes secciones y la implementación del SGE como tal.

Estructura de Apoyo del SGE

Como en cualquier institución, la FCFM posee sistemas de apoyo que son fundamentales para el correcto funcionamiento de esta, de los cuales la mayoría son relevantes para que el SGE posea un correcto funcionamiento y logre cumplir sus objetivos. La forma en que estos se entrelazan con las distintas aristas del SGE se detalla en los siguientes documentos:

1. SGE-APO-001: Listado de documentos y registros maestro
2. SGE-APO-002: Estructura de Apoyo para el SGE

3. SGE-APO-003: Matriz de Comunicaciones
4. SGE-APO-004: Matriz de Competencias
5. SGE-APO-005: Resumen del Sistema de Gestión de Energía

Es importante referirse a los recursos ya existentes que son esenciales para el SGE, entre ellos es posible encontrar:

- Recursos Humanos: La existencia de personal y sistemas de control ya vigentes es vital para suplir las funciones y responsabilidades planteadas por el SGE, además de la capacidad de documentar y comunicar debidamente todas las decisiones relevantes al sistema, junto con las habilidades específicas de cada cargo relevante.
- Tecnología: En la FCFM existen diversos procesos tecnológicos que utilizan energía, y, por ende, se consideran dentro de la planificación energética, objetivos y metas relevantes del SGE.
- Infraestructura de recopilación de datos: Actualmente se cuenta con 5 medidores para medir el consumo eléctrico de la Facultad (Tupper 2007, Blanco Encalada 2120, Blanco Encalada 2002, Beauchef 851 Oriente y Poniente, Beauchef 850), sin embargo, no existen instrumentos especializados para medir el consumo. La oficina de ingeniería para la sustentabilidad de la FCFM se encuentra encargada de la recopilación de datos relevantes, por ejemplo, para las auditorías internas. Esto es algo que se plantea expandir con la planificación planteada anteriormente.
- Recursos financieros: Es vital que se entregue el presupuesto necesario para el establecimiento y desarrollo de proyectos y/o iniciativas que permitan cumplir lo establecido por el SGE.

Tangencialmente, las competencias del personal son invaluableles para un correcto funcionamiento del SGE, por eso se desarrolla una Matriz de Competencias para poder comprender el nivel esperado en cada uno de los cargos relevantes al SGE, lo que puede ser visto en *SGE-APO-004: Matriz de competencias* y en la Tabla 11. Es importante recalcar que las competencias exigidas para cada cargo son basadas en los requisitos, funciones y deberes de cada cargo, y que incluso el nivel 1 de competencias implica un cierto nivel de familiaridad con contenidos energéticos y el SGE a nivel general y el de la Facultad.

Tabla 11 Matriz de Competencias de Cargos del Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia

Cargo	Competencias								
	Norma ISO 50001	Técnicas de Auditoría	Revisión Energética (IDE, LBE, OME)	Criterios de control operacional USE	Criterios de mantenimiento USE	Medición y verificación de ahorros EE	Requisitos legales aplicables en energía	Incorporación de EE en Diseño	Incorporación de EE en Adquisiciones de Bienes y Servicios
Alta Dirección	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Líder del SGE	3	4	4	1	1	4	3	4	4
Líder de operaciones	2	2	2	4	1	3	2	1	3
Líder de mantenimiento	2	1	2	1	4	3	1	1	3
Líder área legal	2	1	1	1	1	1	4	1	2
Líder proyectos	2	1	2	1	1	4	1	4	3
Líder compras	2	1	1	1	1	1	1	1	4
Líder comunicaciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Líder de capacitación	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Audidores internos	2	3	2	1	1	3	1	1	1

Tabla 12 Leyenda Nivel de Competencias, elaboración propia

Nivel de competencias	
4	Experto y entrena
3	Ejecuta sin supervisión
2	Ejecuta con supervisión
1	Conoce

Estas competencias son basadas en las responsabilidades y deberes ya definidas de cada cargo, y fueron chequeadas regularmente mediante el sistema de feedback planteado en la metodología para asegurar que sean las necesarias para el correcto cumplimiento del SGE.

En caso de que las competencias esperadas no se cumplan, es vital la realización de planes de capacitación en materias energéticas relevantes a su cargo. Las cuales deben ser evaluadas por el líder del Equipo de Gestión Energética para asegurar la debida competencia.

Para cada uno de los cargos se elaboró un Perfil de Cargo, los cuales pueden ser vistos en *SGE-APO-002: Estructura de Apoyo del SGE*. A medida ejemplo a continuación se presenta el perfil de cargo del Líder del Equipo de Gestión de Energía:

Tabla 13 Perfil de Cargo Líder del Equipo de Gestión de Energía, elaboración propia

Perfil de cargo	
Cargo	Líder del Equipo de Gestión de Energía
Depende	Dirección Económica y Administrativa
Estudios requeridos	Educación Ingenieril
Objetivo del cargo	Liderar el equipo de gestión energética en toma de decisiones relevantes al SGE
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la correcta implementación y mejora continua del SGE • Analizar el desempeño energético del SGE e informar a la Alta Dirección • Liderar la revisión periódica de procesos, operaciones y procedimientos relevantes al SGE • Establecer y revisar los criterios y métodos necesarios de control del SGE • Plantear y planificar planes de acción que permitan la mejora continua del SGE • Planificar y liderar las auditorías internas del SGE
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia de mínimo 5 años en sistemas de gestión o liderazgo de equipos • Conocimiento profundo de normativas relevantes a la implementación del SGE • Experiencia en auditorías energéticas • Experiencia en revisión de procesos

Estos perfiles de cargo fueron elaborados en base a factores identificados en etapas anteriores, y son focalizados en que posean habilidades y experiencia que les permita cumplir de manera efectiva lo requerido por el SGE, su planificación y su operación.

Los cargos del Equipo de Gestión de Energía no son necesariamente exclusivos, y pueden ser asignados a personal ya presente en la Facultad. De no cumplir todos los requisitos, pueden ser capacitados para ello.

Uno de los factores fundamentales del SGE es una toma de conciencia transversal en todos los estamentos que componen la institución, particularmente para el caso de la Facultad, tanto estudiantes, funcionarios, académicos y otro personal de asistencia deben conocer la política energética y tener conciencia de la existencia y propósito del sistema de gestión energética.

Para esto, se plantea que se realice una charla inicial a la comunidad, que permita presentar el concepto del SGE, su importancia y otros antecedentes importantes. Esta charla debería al menos cubrir:

- Antecedentes básicos de un SGE
- Política energética
- USE y variables de desempeño
- Objetivos, metas y planes de acción
- Canales de comunicación
- Beneficios del SGE
- Implicancias del incumplimiento

Esta charla debe ser repetida de manera periódica para introducir los conceptos a los nuevos integrantes de la comunidad o para repasar las partes más importantes. Su estructura puede ir variando en el tiempo en función de los resultados que esta alcance, sin embargo, en el documento central de esta sección se plantea una estructura base e ideas de actividades y dinámicas para hacer que sea un espacio cómodo y educativo para todos los participantes. Esto, de ser necesario, puede ser dividido en varias charlas, con el objetivo de no sobrecargarse de contenido.

En un principio, las charlas serán abiertas para toda la comunidad. Eventualmente se deben realizar otros eventos de concienciación con mayor especificidad, de carácter obligatorio, para las personas relevantes al funcionamiento del SGE (personal de mantenimiento, operativo, etc.) y también al personal administrativo de oficina, con el objetivo de implantar y mantener en el tiempo buenas prácticas energéticas.

Esto, debe ser apoyado por la difusión de un documento resumen que permita comprender rápidamente los conceptos esenciales del SGE. Este documento, denominado *SGE-APO-003: Resumen del Sistema de Gestión Energética*, contiene de manera digerible todas las secciones y

propósitos de un SGE, para que una persona que no posea formación técnica pueda entenderlo y estar familiarizado con su propósito, métodos y procesos, aunque sea a grandes rasgos.

Como se verá más adelante, una de las principales fuentes de No Conformidades de los SGE proviene de una falta de familiaridad de los integrantes de la comunidad de la institución con el sistema, por lo que es esencial que esta información esté disponible y sea debidamente difundida por los canales correspondientes.

Por ende, uno de los procesos esenciales de la estructura de Apoyo del SGE es la comunicación, la que debe ser efectiva para que todos los integrantes de la comunidad puedan comprender a cabalidad el funcionamiento del SGE, además, debe existir un sistema de comunicación interna que permita tomar decisiones de manera rápida y que evite cualquier clase de malentendido en el desarrollo del sistema. Es evidente entonces que el concepto comunicativo del SGE es multidireccional, abarcando de manera intra e Inter estamental cada uno de los puntos importantes del sistema.

Para lograr eso, se creó el documento *SGE-APO-003: Matriz de Comunicaciones*, el cual plantea una estructura comunicacional descrita a continuación:

Tabla 14 Matriz de Comunicaciones del SGE

¿Qué comunicar?	¿Cuándo comunicar?	¿A quién comunicar?	¿Cómo comunicar?	¿Quién comunica?
Política energética	Anualmente	Todo miembro de la comunidad: estamento estudiantil, académico, funcionario y de apoyo	Charlas Difusión mediante redes sociales Correo electrónico	Alta dirección
Desempeño del sistema de gestión de la energía	Anualmente	Alta dirección	Revisión por la dirección.	Líder Equipo Gestión de la Energía
Desempeño de los IDE	Mensualmente	Alta dirección	Informe de gestión energética mensual.	Equipo Gestión de la Energía

Resultado de los objetivos	Mensualmente	Alta dirección	Informe de gestión energética mensual.	Equipo Gestión de la Energía
Cambios en procedimientos de control o mantenimiento en pos del mejoramiento del SGE	Por suceso	Operarios y/o contratistas relevantes al proceso	Correo electrónico, entrega de nuevos procedimientos por escrito	Líder de Operaciones o Líder de Mantenimiento
Objetivos, metas y planes	Anualmente	Todo miembro de la comunidad: estamento estudiantil, académico, funcionario y de apoyo	Charlas Difusión mediante redes sociales Correo electrónico	Equipo gestión de la energía
Cambios de integrantes del equipo de gestión de energía	Por evento	Todo miembro de la comunidad: estamento estudiantil, académico, funcionario y de apoyo	Redes sociales	Alta dirección
Sugerencias o comentarios del SGE (recopilados de la comunidad)	Mensualmente	Equipo de Gestión de la Energía	Correo electrónico	Líder de comunicación
Aspectos generales del SGE, sus características y su cumplimiento	Mensualmente	Todo miembro de la comunidad: estamento estudiantil, académico, funcionario y de apoyo	Redes sociales: Instagram, Facebook, TikTok	Equipo gestión de la energía a través del Líder de comunicación

Se recomienda que la información dirigida a todos los miembros de la comunidad sea llamativa, precisa y con poco texto, permitiendo una rápida comprensión de lo esencial del SGE incluso para integrantes de la comunidad no especializados en el área. Esto por ejemplo mediante el uso de imágenes e íconos referentes a una eficiencia energética, y que permitan anclar inmediatamente los conceptos; ícono de un aparato eléctrico (por ejemplo, un horno microondas) junto con su etiquetado energético, gráficos de barras bajando, etc.

Un factor fundamental del SGE que se lleva viendo a lo largo de todo este escrito es el sistema de códigos de los documentos, cuyo objetivo es facilitar la implantación de un nuevo integrante al funcionamiento del SGE, difundir información relevante, o simplemente para comprender completamente sus procesos. Se crea nomenclatura especial para condensar, facilitar, encontrar y usar la información disponible:

Tabla 15 Nomenclatura Códigos de Documentos del SGE, elaboración propia

SGE-	APO	Apoyo
	CON	Contexto
	LID	Liderazgo
	MAN	Manual
	OPE	Operación
	PLA	Planificación
	REV	Revisión y Mejora

Este sistema de código se sigue por un número correlativo y único para cada documento en orden cronológico de su creación. En caso de ser necesario, se pueden añadir números adicionales después de un punto para indicar que son anexos directos de algún documento del SGE. Por ejemplo, "SGE-APO-003.1" representaría el primer anexo del tercer documento de la sección "Apoyo" del SGE. Este enfoque permite una organización eficiente y una clara identificación de la relación y evolución de los documentos del Sistema de Gestión de Energía.

En primera instancia todos los documentos del SGE se encuentran en revisión A y fecha de emisión Marzo del 2024, de tener cambios de cualquier tipo estos deben ir cambiando a revisión B, C, D... sucesivamente hasta que se llegue a la implementación del sistema, donde se pasará a revisión 0, y luego de eso de existir nuevas modificaciones se pasará a la revisión 1, 2, 3..., avanzando en medida que sea necesario.

En cualquier caso, los cambios de los documentos deben ser registrados en el documento *SGE-APO-001: Listado de Documentos y Registros Maestro*, indicando su última versión y fecha de esta. El riguroso control de los documentos es algo esencial para el SGE, ya que permite mantener

la información clara y actualizando, permitiendo un rápido estudio de los antecedentes y una veloz toma de decisiones.

Estos documentos serán almacenados en una biblioteca virtual, ya sea OneDrive, Google Drive o similar, y deben ser debidamente cuidados y actualizados, procurando que sean una fuente confiable de información del SGE.

En esta sección del SGE se pudo cumplir a cabalidad con lo indicado por la Guía, siendo una de las que más frecuentemente pasó por revisión para asegurar que la estructura de apoyo detrás del SGE sea sólida y que permita tener cubrir todas las bases para una correcta ejecución de este.

Operación

La operación dentro del SGE es de vital importancia para lograr una ejecución efectiva de la planificación establecida. Estas operaciones deben alinearse con lo planteado en etapas anteriores y ser coherentes con la política energética. Con este fin, se establecen controles operacionales centrados en los USE. Estos controles deben ser sistemáticos y verificarse constantemente. Además, es crucial comunicarlos de manera clara y efectiva a todos los actores relevantes del SGE.

Con esos propósitos fueron creados los siguientes documentos:

1. SGE-OPE-001: Operación al Interior del SGE
2. SGE-OPE-002: Matriz de Control Operacional
3. SGE-OPE-003: Planes de Mantenimiento de Equipos
4. SGE-OPE-004: Registro de Mantenimiento de Equipo
5. SGE-OPE-005: Chequeo Básico de Antecedentes Energéticos
6. SGE-OPE-006: Matriz de Priorización de OMEE
7. SGE-OPE-007: Valoración Económica y Análisis comparativo de OMEE
8. SGE-OPE-008: Formulario de Compras y/o contrataciones

De manera similar a la sección anterior, el documento central *SGE-OPE-001: Operación al Interior del SGE* establece los criterios y requerimientos que fueron considerados al momento de la planificación y diseño de los criterios operacionales y otras medidas de control, estos tienen que ser revisados en el tiempo con tal de que se mantengan actualizados y relevantes la funcionamiento del SGE. Además, establece la metodología con la cual deben ser llenados los formatos que serán detallados a lo largo de esta sección.

Particularmente esta sección contiene la mayor cantidad de formatos rellenables, los cuales fueron contruidos pensando en un fácil entendimiento, adaptando lo indicado por la Guía a la realidad de la Facultad. Es entendible que estos pasos burocráticos extra resulten tediosos al principio, por lo que también se focalizó la simpleza de la información, tratando de priorizar las preguntas binarias o apartados que no requieran llenar demasiada información de una sola vez.

Primeramente, *SGE-OPE-002: Matriz de Control Operacional* identifica y caracteriza los equipos y procesos que son entrelazados con los controles operacionales; se identifica la fuente de energía, si es que son un USE, su variable crítica de control, rangos de operación y frecuencia de análisis. Estos constituyen referencias que pueden ser modificadas si es que durante la implementación del SGE se considera necesario.

SGE-OPE-003: Planes de Mantenimiento de Equipos y *SGE-OPE-004: Registro de Mantenimiento de Equipos* son formatos para llevar un control cercano del mantenimiento de cada uno de los equipos que sean incorporados al SGE. En primera instancia es importante incluir los que son parte de los USE, es decir los equipos de Climatización, Iluminación y Computación, entendiéndose que debe ser un proceso paulatino para facilitar el acomodamiento del personal a estas nuevas metodologías de control. Particularmente estos documentos son netamente referenciales y los valores y plazos que se muestran en ellos no deben ser usados en un plan de mantenimiento real, y de ser necesario deben adaptarse a los procesos ya establecidos en la Facultad.

Otra arista significativa del control operacional en el SGE está relacionada con el diseño y desarrollo de proyectos; se plantea que el SGE implemente requisitos en el diseño de proyectos con el objetivo de capitalizar estas oportunidades de mejora de desempeño. Esto abarca el requerimiento de estándares de eficiencia energética en el diseño; la Agencia de Sostenibilidad Energética ha publicado lineamientos que son útiles para plantear lo necesario para un diseño tomando en consideración la eficiencia energética [37].

Además de eso, en los procesos de la Facultad se considerarán criterios de eficiencia energética tanto en la licitación de funciones dentro de la institución, por ejemplo, cafeterías. La factibilidad de aplicar criterios de eficiencia energética dependerá de cada caso, dado que en actividades de investigación y/o laboratorio es difícil instalarlos sin afectar el trabajo realizado. Se plantea que en los primeros 5 años de operación del SGE la presencia de criterios de eficiencia energética sea deseable, lo que paulatinamente se transformará en un requisito exigido para cualquier diseño a realizarse al interior de la Facultad.

En el caso de los proyectos, la eficiencia energética tiene que ser considerada tan temprano como la fase de Ingeniería Conceptual, facilitando el trabajo en las etapas posteriores. Los requerimientos en cada una de las etapas se definen en el documento central de la sección *SGE-OPE-001: Operación al Interior del SGE*, mas, también se resumen a continuación:

- Ingeniería Conceptual
 - Caracterización de requerimientos y recursos energéticos del proyecto
 - Llenado de formato *SGE-OPE-005: Chequeo básico de antecedentes energéticos*
 - Determinación de USE del proyecto
 - Realización de Balance de Energía del proyecto, de ser posible
 - Estudio de la implementación de al menos un IDE

- Proponer medidas de eficiencia energética
- Redacción de informe de Eficiencia Energética de la etapa
- Ingeniería Básica
 - Actualización de datos que hayan cambiado desde el informe de la etapa anterior
 - Análisis técnico-económico de medidas de eficiencia energética planteadas con un margen del 40%
 - Llenado de *SGE-OPE-006: Matriz de Priorización de OMEE*
 - Elección de medidas de eficiencia energética a implementar
 - Redacción de informe de Eficiencia Energética de la etapa
- Ingeniería de Detalle
 - Actualización de datos que hayan cambiado desde el informe de la etapa anterior
 - Actualizar diseño de ingeniería para implementar medidas de eficiencia energética elegidas durante la etapa anterior
 - Generación de documentación relevante (memorias de cálculo, planos, etc.)
 - Realización de evaluaciones económicas en mayor detalle que etapa anterior
 - Llenado de *SGE-OPE-007: Análisis comparativo de OMEE*

En primera instancia podría parecer que se suma una gran cantidad de trabajo a algo que ya requiere muchísimas HH para desarrollarse como lo es el diseño de un proyecto, sin embargo, estos formatos no son demasiado extensos y permiten alcanzar un mayor entendimiento del proyecto que se está desarrollando; además, elementos como el balance de energía ya son establecidos dentro de proyectos incluso sin la introducción de los requerimientos de eficiencia energética. Con un delta no mayor de trabajo se permite un mayor entendimiento, y a la larga un ahorro del consumo energético.

Estos lineamientos y requerimientos permiten implementar adecuadamente criterios de eficiencia energética durante el diseño de proyectos de ingeniería. Los documentos *SGE-OPE-005*, *SGE-OPE-006* y *SGE-OPE-007* fueron creados considerando que puedan ser aplicados de manera transversal a los proyectos sin importar su índole o envergadura, y permiten caracterizar energéticamente los mismos.

Particularmente *SGE-OPE-005: Chequeo básico de antecedentes energéticos* abarca antecedentes de contacto del responsable, una descripción básica del proyecto y sus procesos principales, estimaciones de consumo energético y una contabilización de los usos energéticos del proyecto; respondiendo “sí” o “no” a un listado de distintos sistemas que podrían ser utilizados en el mismo. Esto permite tener una mirada general de los requerimientos energéticos del proyecto, para tenerlos en consideración al momento del establecimiento de medidas de eficiencia energética.

SGE-OPE-006: Matriz de Priorización de OMEE plantea organizar las posibles oportunidades de mejora de eficiencia energética mediante el uso de la escala Saaty, completando la importancia relativa entre los parámetros *Monto de Inversión, Dificultad de Implementación, Impacto en EE y Tecnología*. Esta debe ser establecida de manera adecuada para cada proyecto, lo que sea importante en uno no necesariamente lo será en otro y lo presentado actualmente en ese documento es netamente referencial.

SGE-OPE-007: Valorización Económica y Análisis Comparativo de OMEE cierra el estudio energético de los proyectos al resumir y comparar las medidas implementadas, con la priorización ya elegida anteriormente, indicando la energía anual que ahorra, su costo de inversión, ahorro económico, tiempo de recuperación, VAN y TIR.

En la figura Ilustración 22 se pueden apreciar preguntas que deben ser respondidas durante el desarrollo de todo proyecto, y que permiten hacerse una idea rápida y efectiva de donde se encuentra el proyecto en términos energéticos.

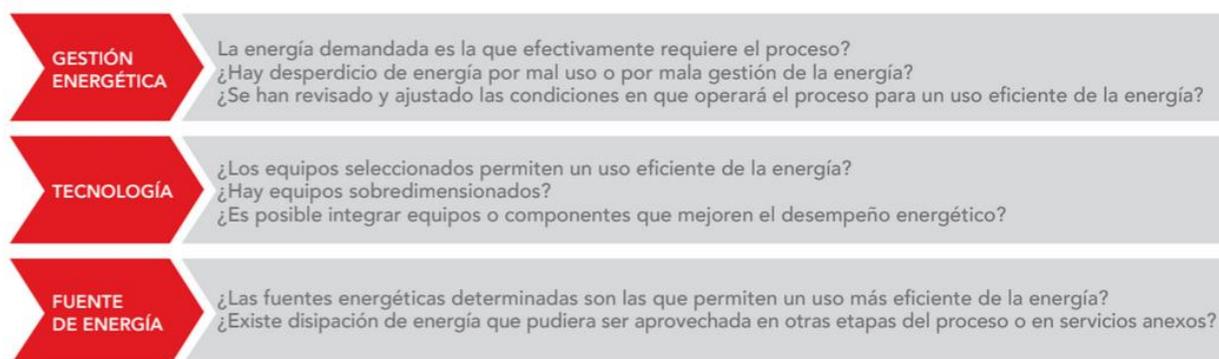


Ilustración 22 Preguntas básicas de Eficiencia Energética para proyectos [37]

Es importante tener en cuenta los tipos de medida de eficiencia energética que se pueden aplicar en el proceso de diseño, por ejemplo, avanzando de menor a mayor en términos de complejidad y costos; desde capacitaciones al personal, pasando a control operacional, seguido de mejoras de equipos y finalmente actividades de mayor envergadura y costo, como el cambio de equipos, lo que se ve reflejado en la siguiente ilustración:

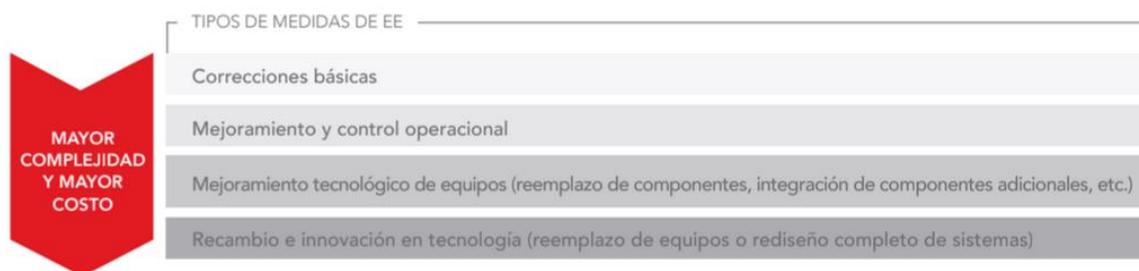


Ilustración 23 Tipos de Medidas de EE [37]

Paralelo e interrelacionado con el proceso de diseño es posible encontrar el procedimiento de compras y adquisiciones realizadas dentro de la Facultad, la cual de igual manera debe considerar la inclusión de requerimientos de eficiencia energética, esto, con un particular énfasis en los USE.

Esto se contempla en la adquisición de:

- Laptops, computadores de escritorio, All in One, impresoras, multifuncionales y otros equipos varios de apoyo a la docencia (proyectores, micrófonos, etc.), los que deben cumplir con la debida certificación Energy Star, verificando mediante la existencia de alguna Ecoetiqueta tipo I (elaborada en base a ISO 14024) como TCO Certified, Rótulo Ecológico ABNT (Brasil), European Ecolabel, Blue Angel de Alemania (Blaue Engel), Nordic Swan (Países Nórdicos) u otra.
- Servidores y Climatización, deben poseer alguna certificación de eficiencia energética que le permita evidenciar su nivel de eficiencia energética aprobada por los organismos regulatorios nacionales.
- Iluminación, se debe priorizar la adquisición de tecnología LED u otra que permita un ahorro energético, la que preferentemente debe poseer certificación SEC.
- Licitaciones de servicios para la Facultad, como pueden ser cafeterías, subcontratos de mantenimiento, limpieza u otros servicios que realiza la Facultad, eventos como conferencias, uso de foodtrucks u otro tipo de ferias itinerantes, arriendo de vehículos y cualquier otro servicio que pueda ser solicitado a externos

Se plantea un formulario de compra en *SGE-OPE-008: Formulario de Compras y/o contratación de servicios* para poder identificar rápidamente el cumplimiento de estos requerimientos. En este formato, debe indicarse el tipo de servicio o producto a ser adquirido, junto con su descripción, la cual debe incluir al menos:

- Modelo
- Marca
- Año de fabricación
- Detalles técnicos relevantes (potencia, caudal, capacidad, etc.)

Estos criterios de adquisición fueron pensados y diseñados en función de los USE definidos en la planificación energética del SGE, mostrando nuevamente el entrelazamiento de todas las artistas del SGE.

En el caso de la contratación de empresas mediante una licitación, se deberá solicitar, además de los antecedentes habituales (información básica de la empresa, certificados de composición, situación legal, entre otros), evidencia de experiencias previas relacionadas con la implementación de eficiencia energética en sus actividades. Esto puede incluir la implementación de un SGE, la adopción de nuevas tecnologías, u otras prácticas similares. Además, en caso de poseerlas, se deben

adjuntar certificaciones relevantes como la ISO 50001 o la Certificación de Edificio Sustentable CES, junto con una breve descripción de su política de sustentabilidad.

En ambos casos, tanto para el diseño como la adquisición, la severidad de los requerimientos irá aumentando en el tiempo luego de la implementación del SGE. Primeramente, serán deseados, pero no excluyentes, y se plantea que luego de 5 años de operación del sistema de gestión estos requerimientos energéticos ya sean exigidos completamente.

En esta sección, vuelve a repercutir la falta de información; como se comentó en el contexto de la Facultad, se tuvo la intención de agendar reuniones con personal clave de iluminación y climatización para conocer más a fondo los controles y lógicas operacionales ya establecidas en la FCFM, sin embargo, debido a problemas de logística y situaciones de mayor urgencia que vivió el personal esto no se pudo concretar. Dado esto, el control operacional presentado en este trabajo funciona con lineamientos que es necesario que se adapten posteriormente a una especificidad mayor, para que de esa forma se logre mejorar más aún el desempeño energético de la Facultad.

Salvo lo anterior, se logró cumplir a cabalidad con lo indicado por la norma para la sección de operación.

Revisión y mejora

Si bien la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía plantea que estas secciones sean realizadas una vez implementado el SGE, la naturaleza y alcance de este proyecto como un trabajo de título dificultan este proceso. Sin embargo, se plantea una estructura que permite tener un seguimiento tal que se consiga una mejora continua que esté alineada con la política energética y otros factores fundamentales de este.

Para estructurar el proceso de revisión y mejora, se plantean los siguientes documentos:

1. SGE-REV-001: Revisión y Mejora del SGE
2. SGE-REV-002: Matriz de Monitoreo del SGE
3. SGE-REV-003: Cronograma de Auditorias
4. SGE-REV-004: Planificación y Hallazgos Auditoría Interna
5. SGE-REV-005: Registro de Reunión de Revisión de Alta Dirección
6. SGE-REV-006: Registro de No Conformidades
7. SGE-REV-007: Chequeo rápido de requisitos de norma ISO50001:2018
8. SGE-REV-008: Chequeo de cumplimiento de planes de acción

El proceso de mejora continua es uno de los factores fundamentales del planteamiento del SGE, es por eso por lo que la revisión tiene que ser exhaustiva y exigente, con el fin de lograr alcanzar los objetivos planteados en este sistema.

En la operación energética del SGE, ya se establecieron los lineamientos bajo los cuales serán medidos y revisados los controles operacionales, estos tienen que ser mantenidos en el tiempo y mejorados de ser necesario dadas las posibles mejoras que pueda tener el SGE. Además de ello a través del documento *SGE-REV-002: Matriz de Monitoreo del SGE* se permite revisar de manera rápida a grandes rasgos el estado de verificación de diversos aspectos del SGE. Este documento enumera los diversos aspectos macro que describen el SGE, se describen, se indica su área y responsable antes de realizar una planificación aproximada de cuando serán chequeados, además de su método de verificación. Es importante que al momento de la implementación de cualquier tipo de actividad este documento sea actualizado.

Este monitoreo continua la tendencia del SGE de plantear controles cercanos para poder gestionar adecuadamente el recurso energético de la Facultad.

El monitoreo y el posterior análisis de los datos recopilados es esencial para el correcto desarrollo del SGE, de notar cambios sustanciales y significativos del desempeño energético, es deber del Equipo de Gestión de Energía investigar y dar respuesta a la causa de estos.

Con particular énfasis se debe monitorear el cumplimiento de los planes de acción establecidos en *SGE-PLA-001: Planificación Energética del SGE*, dejando registro de:

- Medición del desempeño energético (consumo de energía, variables que influyen en los USE), acorde al método de verificación planteado en el plan de acción
- Cumplimiento de los planes de acción.
- Evaluación del consumo de energía y % de avance real v/s proyectado.
- Registros de las variables de control operacional, medidas y analizadas.
- Conformidad con otros requerimientos misceláneos.

Todo esto, tiene que estar debidamente documentado y relacionado con lo ya planteado en la planificación energética del SGE, en el documento *SGE-REV-008: Chequeo de cumplimiento de planes de acción*.

Otro proceso fundamental de la revisión es la Auditoría Interna, esta es una herramienta que permite medir, evaluar y supervisar el desempeño del SGE. Estas serán realizadas en intervalos regulares, inicialmente cada un año. Este proceso tiene como objetivo proporcionar información sobre el cumplimiento de los requisitos propios de la organización relevantes para el SGE, cumplimiento de la política energética, objetivos y metas energéticas, así como el programa de gestión energética, evaluar la capacidad del proceso de revisión de la gestión interna en búsqueda de la adecuación y eficacia de programas y procesos del SGE, y el desarrollo de un correcto mejoramiento del desempeño energético.

La auditoría interna debe ser:

- Sistemática: metodología definida y repetible

- Independiente, con un equipo imparcial que no puede tener relación con el Equipo de Gestión Energética o cualquier área relacionada.
- Documentado, con todos los datos dispuestos públicamente.

Las auditorías realizadas con sus respectivos datos relevantes, como responsables y fechas, deben ser ingresados en el documento *SGE-REV-003: Cronograma de Auditorías*. Este documento presenta una serie de apartados que permiten identificar las auditorías realizadas, su fecha, área, responsable y un seguimiento de su ejecución.

La auditoría como tal, puede ser realizada por uno o más auditores, los cuales deben cumplir lo establecido anteriormente y deben tener conocimientos acordes a lo establecido en *SGE-APO-002: Estructura de Apoyo para el SGE*. Además, esta debe ser realizada siguiendo lo determinado en la norma ISO19011, la cual plantea requerimientos en torno a los procedimientos de inicio, recolección de información, preparación de conclusiones, comunicación de hallazgos y elaboración de informes [18].

La planificación y los hallazgos de la auditoría interna del SGE deben ser completados en el documento *SGE-REV-004: Planificación y Hallazgos de Auditorías Internas*, el cual contiene información relevante de los objetivos, áreas, alcances y responsable de la auditoría, sumado al periodo de tiempo en el que fue ejecutada, los requisitos normativos analizados y su grado de cumplimiento. En caso de existir trasgresiones a lo requerido, se debe clasificar adecuadamente acorde a lo siguiente:

- No Conformidad: las no conformidades son hallazgos identificados durante la auditoría que indican que un aspecto del sistema de gestión de la energía no cumple con los requisitos establecidos en la planificación establecida.
- Observaciones: las observaciones son comentarios o sugerencias identificadas durante la auditoría que, aunque no constituyen incumplimientos graves, pueden indicar áreas de mejora o puntos a considerar para fortalecer el sistema de gestión de la energía.
- Oportunidades de mejora: las oportunidades de mejora son identificaciones positivas durante la auditoría que sugieren maneras de optimizar o fortalecer el sistema de gestión de la energía, incluso cuando no hay incumplimientos evidentes.

Además de ello, se plantea el documento *SGE-REV-007: Chequeo Rápido de requisitos de Norma ISO50001:2018*, el cual presenta una serie de preguntas binarias (si/no) para corroborar los requisitos de la norma. Hay que comentar la evidencia que exista del cumplimiento o la carencia de este en cada una de estas, lo que puede ser por ejemplo referenciando algún documento, fotografía, análisis externo, etc. Se debe indicar si se cumple o no el requisito, y de ser negativa la respuesta se debe identificar el % de completitud aproximado de este, además de indicar el documento donde se indique la No Conformidad detectada (del que se hablará más adelante). En la Tabla 16 se presenta un fragmento del checklist descrito:

Tabla 16 Fragmento de Checklist de implementación de SGE acorde a Norma ISO50001:2018, elaboración propia

ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN NORMA ISO 50001:2018											
N°	REQUISITOS EXIGIDOS	¿SE HA IMPLEMENTADO?			CUMPLE		PORCENTAJE				Documento de no Conformidad
		SI	NO	EVIDENCIA	SI	NO	25%	50%	75%	100%	
4	4. Contexto de la Organización										
4.1	¿Ha determinado la FCFM las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito y su desempeño energético?										

En otro tema relacionado, la evaluación realizada por la Alta Dirección se centra en cuestiones estratégicas relacionadas con la orientación general del Sistema de Gestión de la Energía, y busca examinar el logro de los objetivos de este, garantizando su constante adecuación, idoneidad, eficacia y alineación con la dirección estratégica de la Facultad establecida en la política energética. Además, tiene como objetivo identificar posibles desviaciones diagnosticadas, proponer medidas correctivas y establecer nuevos objetivos y metas a medida que se avanza en la implementación de iniciativas de eficiencia energética. Este proceso tiene en cuenta cambios en factores internos y externos, así como los riesgos asociados y las oportunidades pertinentes para el SGE.

Se plantea que esta comenzará como mínimo una vez al año, sin embargo, se plantea que la revisión por parte de alta dirección del cumplimiento de los objetivos del SGE paulatinamente vaya aumentando en frecuencia, idealmente luego de un periodo de 5 años alcanzando un carácter mensual.

El desarrollo de esta revisión se realiza con inputs de todas las aristas del SGE, lo que se conoce como “Información de Entrada” (Ilustración 24).

De aquí es posible apreciar como toda la información del SGE es relevante al proceso de revisión, abarcando los requisitos legales, los objetivos y metas energéticas, resultados de las auditorías, cambios externos, internos y cualquier otro cambio que se haya producido en lo ya establecido en las secciones anteriores del SGE.

Es importante recalcar que este periodo de revisión no necesariamente tiene que realizarse de una sola vez, sobre todo en etapas tempranas que se realizará la revisión de manera anual, es que se plantea un análisis a lo largo de varias reuniones.

Estas reuniones de revisión, además de la Alta Dirección, también deben incluir a representantes de cada área del Equipo de Gestión de la Energía y a los encargados de cada área de control de los USE, en primera instancia, iluminación y climatización son los más relevantes.

Este proceso de revisión entregará lo denominado “Información de Salida” (Ilustración 25), lo cual incluye las decisiones relevantes al SGE. Por ejemplo, determinando cambios en los objetivos y planificación planteada, cambio de personal, en la política, o cualquier otro tema relevante para la correcta ejecución del SGE.

Todo esto, debe quedar documentado y ser debidamente comunicado a todos los actores relevantes para el correcto funcionamiento y mejora continua del SGE, particularmente en el documento *SGE-REV-005: Registro de Reunión de Revisión de Alta Dirección*, donde se detallan los temas tratados y pendientes de la reunión, los asistentes, fechas y la “Información de Salida” que haya surgido de la reunión



Ilustración 24 Información de entrada para la Revisión por Alta Dirección [8]

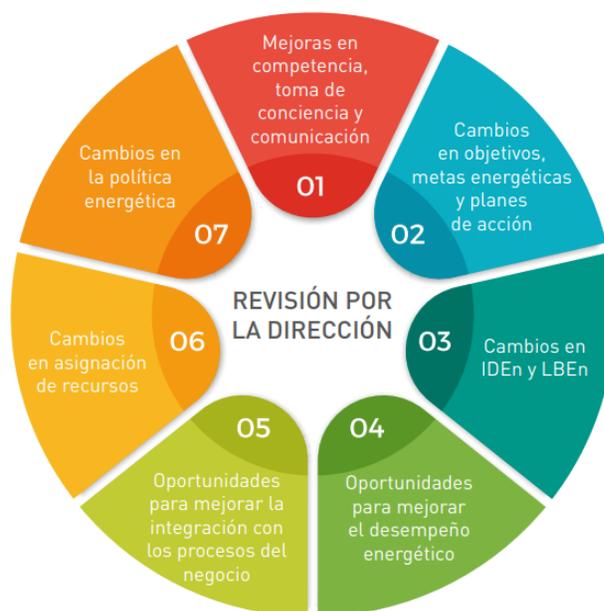


Ilustración 25 Información de Salida de Revisión por Alta Dirección [8]

Este constante proceso de revisión tiene por objetivo garantizar la mejora continua del SGE, y para ello, hay que tener en cuenta que las No Conformidades encontradas durante la revisión, ya que son una oportunidad para mejorar el desempeño energético del SGE y subsecuentemente de la Facultad. Acorde a la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía, las No Conformidades más frecuentes son:

- Falta de capacitación y/o competencia del personal
- Fallas en los procesos de comunicación
- Ausencia de criterios operacionales
- Falta de seguimiento, medición y/o análisis
- Carencias en el compromiso de Alta Dirección
- Fallas en el control de la información
- Ausencia de recursos necesarios

Hay que prepararse preventivamente para enfrentar estas y otras No Conformidades que puedan surgir una vez puesto en marcha el SGE, para lo cual se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. *Identificación de las causas:* Se recomienda utilizar un análisis de causa raíz (Fishbone diagram en inglés) para determinar las causas de las No Conformidad en cuestión. Por ejemplo, si existe una No Conformidad en el control operacional, hay que determinar si es que es producto de falta de compromiso de los operadores, instrucciones contradictorias por parte de la dirección, desconocimiento de los criterios establecidos u otras causas.

2. *Acciones Correctivas*: Una vez identificadas las causas, se deben implementar acciones correctivas que las eliminen, evitando que se repitan en el futuro. Esto debe ser implementado con una programación adecuada que incluya responsables, fechas e implementación.

3. *Revisión de la eficacia*: Luego de un tiempo determinado que variará dependiendo de cada no conformidad, se debe corroborar si es que sigue existiendo o no la No Conformidad. Para esto se debe usar el documento *SGE-REV-006: Registro de No Conformidad* para cada No Conformidad encontrada durante el proceso de revisión. La sección de descripción se completa en base a lo indicado en la Norma ISO50001:2018, y lo demás se completa en base a lo observado y evidenciado durante la auditoría y las subsecuentes decisiones que se hayan realizado al respecto. Este documento tiene relación con el ya mencionado anteriormente *SGE-REV-007*, y deben tener relación y coherencia entre ambos.

Es evidente que esta sección es la que más difiere de lo establecido por la Guía, ya que esta da por hecho que a estas alturas está diseñado el SGE. Sin embargo, se consideró que sería un aporte considerable a este trabajo proponer las formas en que lo diseñado puede ser seguido y revisado continuamente, ya que como se ha visto esto es un pilar fundamental de la mejora continua que se pretende alcanzar con el desarrollo de este SGE.

Manual del Sistema de Gestión de Energía

Este último documento, denominado *SGE-MAN-001: Manual de Gestión Energética*, es la piedra angular del diseño del SGE, su objetivo es presentar los contenidos del Sistema de Gestión Energética de la FCFM, permitiendo conocer y comprender cada faceta de este, y asimismo funcionar como guía para su mantenimiento y mejora continua.

En este se establecen las definiciones de términos energéticos pertinentes, como *Consumo Energético*, *Alta Dirección*, *Mejora Continua*, etc., además de indicar de manera similar a este mismo texto, cada una de las secciones que componen al SGE, sus documentos y la información más importante de cada uno de ellos. Es importante que este documento sea correctamente actualizado en medida de que sea necesario, ya que será el primer contacto que cualquier persona tenga, ya sea interna o externa, con el SGE.

Similar a la política energética, debe ser público y debidamente difundido, es el estandarte que muestra el compromiso que tiene la FCFM con su Sistema de Gestión Energética, y, por consiguiente, con la eficiencia energética y la sustentabilidad.

Impacto del SGE en el consumo energético de la FCFM

Es evidente dado todo lo visto en este trabajo, que el SGE un gran número de procesos y procedimientos de la Facultad, introduciéndose tanto en aspectos técnico-económicos como comunitarios. Dado eso, es importante lograr cuantificar, aunque sea de manera aproximada.

El porcentaje de disminución de consumo energético gracias a los SGE varía dependiendo de la institución, el rubro y los procesos involucrados, sin embargo, gracias a estudios realizados por el Ministerio de Energía [8] se ha visto que en promedio se alcanzan reducciones de un 4.5% en Chile. Homologando eso con el consumo actual de la Facultad representaría una reducción de 412,11 MWh/año. La Facultad realizó un gasto de alrededor de 1.300 millones de pesos en electricidad el año 2023, para dar un orden de magnitud, si es que asumimos que se gastó una cantidad similar de dinero por los 9.158 MWh consumidos durante el 2022, implicaría que cada MWh tiene un costo monómico (es decir, la cantidad de dinero gastado dividido por la energía consumida total, sin considerar otros factores que influyen en el precio), aproximado de \$140.000 CLP (141,95 CLP/kWh) por lo que reduciendo esto en ese mismo porcentaje ya se estaría hablando de 58,5 millones de pesos de ahorro.

Dadas las dificultades ya comentadas en este escrito, es dificultoso entregar números precisos para los objetivos planteados en la planificación del SGE, sin embargo, si es posible realizar un análisis unitario para cuantificar, aunque sea de manera aproximada, el impacto que habría en el consumo.

Ya se vio que el USE más significativo es la climatización, el cual posee un sistema bastante complejo y al cual no se pudo obtener mucha información, dificultando un análisis exhaustivo. Sin embargo, se puede ver que, en el caso del aire acondicionado, acorde a investigaciones realizadas por el *Energy and Resources Institute*, el consumo energético de un *chiller* de aire acondicionado disminuye entre un 3 y 5% por cada grado Celsius sobre los 22°C que sea configurado el equipo. [41]. Acorde a lo visto en la sección de Planificación, 5.378 MWh fueron consumidos para climatización, sólo por propósitos ilustrativos, suponiendo que un 10% de los equipos de climatización se encuentra 1°C bajo los valores establecidos en el control operacional, implicaría un consumo de 16,13MWh (o cerca de \$2.200.000) pueden ser ahorrados al año sólo al corregir estos equipos para que se encuentren 1°C más cerca de los 22°C.

En cuanto a las buenas prácticas, como ejemplo se puede usar un computador de escritorio junto con su monitor. Típicamente la combinación de estos equipos posee una potencia de alrededor los 200W, la que puede variar por factores como marca, modelo, rendimiento, procesos que se encuentren activos, entre otros. Para propósitos del ejercicio, se considera que este equipo no está realizando ningún proceso que sea exigente de la CPU. Se esperaría que en una sala de estudios cualquiera de la Facultad, como la que se encuentra en el 5to piso del edificio poniente de Beauchef 851, perteneciente al DIMEC, este equipo estuviera encendido solamente al momento de utilizarse, aproximadamente 12 horas diarias entre las 8:00 y las 20:00 horas, entregando un consumo de $200 W \cdot 12 h = 2,16kWh$ diario aproximadamente.

Sin embargo, lo que sucede dada las malas prácticas que se ven en la comunidad, es que estos equipos nunca son apagados, haciendo que el consumo sea el ya mencionado, más su consumo de stand-by durante las horas de la noche y los fines de semana. Esta potencia suele rondar en torno a los 20W. Considerando que se queda en su estado de espera 12 horas de lunes a viernes, más todo el día los fines de semana, implican 108 horas a la semana, es decir un consumo de 2,16 kWh/semana, lo que en las 30 semanas del año (sin considerar semanas de exámenes ni semestre de verano), implican un consumo extra de 64,8 kWh por computador junto con su monitor. Solo considerando la sala de estudios del 5to piso del DIMEC que tiene cerca de 10 equipos, implica un consumo extra de 648 kWh/año.

De cumplirse el objetivo de reducir en un 50% estas instancias de malas prácticas, solo por propósitos de estos 10 computadores, y utilizar el valor aproximado de \$141,95 CLP/kWh calculado anteriormente, se estarían ahorrando cerca de \$91.985 CLP al año en electricidad, lo cual es ínfimo relativo a los flujos de dinero que posee la Facultad, sin embargo esto es algo que no sólo afectaría a los computadores de esta sala de estudio, sino que también a todos las que se encuentran en la Facultad; cada oficina, cada laboratorio, y cada equipo que erróneamente se mantiene encendido, generando así una disminución considerable de consumo solo cambiando la conciencia de la comunidad. Considerando que los 12 departamentos que componen la Facultad (Astronomía, DCC, DFI, Geofísica, Geología, DIC, DIMIN, DIE, DII, DIM, DIMEC e IQBT), poseen instalaciones similares, solo esto representaría ahorros de \$1.103.822 CLP anuales.

Por otro lado, medidas como los remarcadores y la existencia de cursos y trabajos de títulos orientados a temas de sustentabilidad son difíciles de medir debido a la gran cantidad de variables que pueden influir. La instalación de remarcadores podría arrojar algún punto clave donde, de atacarse correctamente, se pudiera disminuir significativamente el consumo energético, y el potenciamiento de cursos y trabajos de título inyectaría personas comprometidas y apasionadas por la sustentabilidad a la escena, permitiendo que eventualmente surjan más iniciativas y proyectos para alcanzar una mayor eficiencia energética en los procesos de la Facultad. Como ejemplo de esto, se tiene lo realizado por la UNAB durante el año 2023, instalando 249 equipos que les permitieron tomar decisiones e implementar programas técnicos y comunitarios que ayudaron a la correcta implementación de su SGE. [42]

El lado de los costos asociados al SGE también es complejo, el diseño planteado para el Sistema implica una inyección de recursos, tanto en la forma de tiempo como monetario, para cumplir con los procedimientos, cargos, y otros requerimientos de este, cuyo análisis escapa de los alcances de esta investigación. Sin embargo, hay alternativas para capear costos; por ejemplo, la capacitación de personal ya existente y una correcta articulación de sus labores actuales con las necesarias para el SGE (de tal forma que no se genere un exceso de trabajo para la persona) posee un costo menor que la contratación que una persona completamente nueva.

Estas son solo algunas de las formas en que el SGE propuesto puede impactar el consumo energético de la FCFM, sin embargo, la bibliografía y los casos de éxito ya discutidos, algunos de

los cuales son también de instituciones de educación superior, apuntan a que el costo monetario asociado a la implementación de este será baja comparado a las posibles reducciones de consumo asociadas a la correcta implementación del SGE.

Conclusiones y Trabajos Posteriores

Primeramente, se realizó un levantamiento de información energética relevante mediante entrevistas con personal clave de la Facultad, como la Dirección Económica Administrativa y la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, lo que, en conjunto con una investigación bibliográfica y solicitudes pertinentes a la información, permitió conseguir diversas fuentes de información para ser analizadas.

Esto, decantó en la etapa del Contexto de la Organización, en donde se definió cómo los procesos de la Facultad se relacionan y necesitan un consumo energético para que la FCFM pueda ofrecer sus servicios educativos y procesos investigativos. Para ello, la Facultad consumió aproximadamente 7,56 TCal durante el año 2022. Esta energía fue usada principalmente en la climatización (58,7%), la iluminación (12,5%) y la computación (7,9%), que son elementos necesarios para generar un espacio adecuado para la investigación y la enseñanza, y que asimismo también se definieron como los USE de la Facultad.

Gracias a esto, se llevó a cabo un análisis de brechas inicial y final, en el que se pudo ver que antes de este trabajo la Facultad cumplía con un 15,4% de lo pedido por la Norma ISO50001:2018, mientras que, de implementarse correctamente este diseño de SGE, se alcanzaría un cumplimiento del 92,3 %. También se definieron los alcances geográficos y de procesos que rigen el SGE, los cuales se definieron como *"lo consumido por los edificios ubicados en Avenida Beauchef 850 y 851, particularmente los edificios Norte, Oriente, Poniente y Auditorio D'Etigny en 851, sumado a los subterráneos del mismo edificio. En 850 se considera el edificio Escuela, los edificios de Física e Ingeniería de Minas, Torre Justicia Espada, los edificios de Ingeniería Civil-Geofísica, Ingeniería Eléctrica-AMTC, Geología, y zonas comunes de ambos edificios Además, se consideran dentro de los alcances del SGE, todas las actividades educativas, investigativas, administrativas y recreacionales que se efectúen en estas instalaciones, abarcando tanto su consumo eléctrico como de combustibles, ya sea en las instalaciones o por los vehículos de la Facultad."*, cumpliendo así los dos primeros objetivos específicos de este trabajo.

Posteriormente, se planteó una estructura de liderazgo encabezada por la Alta Dirección, correspondiente a la Dirección Económica y Administrativa de la Facultad, cuyas labores y responsabilidades principales incluyen velar por el establecimiento de los objetivos y metas energéticas apropiadas para la FCFM, revisar y corroborar la integración del SGE a la Facultad, asegurar la aprobación e implementación de los planes de acción, entre otros, todo esto para permitir el correcto emplazamiento del SGE. En esta misma sección se establecieron los cargos que compondrán el Equipo de Gestión de la Energía, encargados de liderar y poner en marcha todas las metodologías, controles operacionales y planificaciones que forman parte del diseño del SGE. Entre estos se incluyen el Líder del SGE, encargado de liderar el equipo de gestión de energía y la toma de decisiones relevantes al SGE; el líder de Operaciones, encargado de asegurar la correcta ejecución y operación de los procedimientos de control operacionales establecidos para el SGE; líder de Mantenimiento, encargado de la coordinación y ejecución de la mantención que permita

que los equipos funcionen en los parámetros adecuados, y otros cargos que son invaluable para el funcionamiento del SGE.

Se continuó con el diseño a través de la Planificación Energética, que incluye documentos que establecen objetivos y metas energéticas, junto con su planificación para alcanzarlos y verificar su cumplimiento en el tiempo. El primero de estos objetivos está relacionado con la instalación de remarcadores energéticos en diversos edificios de la Facultad, cuya meta consiste en la instalación de estos en al menos el 50% de los edificios del alcance del SGE en el primer año. El siguiente objetivo busca atacar las malas prácticas energéticas en la Facultad, con la meta de reducir en un 50% las instancias en las cuales se detecte una mala práctica energética. El tercer objetivo corresponde a impulsar el desarrollo educativo en materias de gestión y eficiencia energética, cuya meta es promover al menos un trabajo de título y un curso de pre o posgrado en estas materias. El último de los objetivos es estudiar e implementar IDE permitan conocer de manera más específica los consumos de la Facultad, cuya meta es el establecimiento de al menos un IDE en el periodo de un año.

Asimismo, se crearon los procedimientos y requisitos para crear nuevos objetivos en el futuro, con sus metas y planes de acción asociados.

También se estudió la Revisión Energética de la Facultad que permitió identificar mediante métodos de priorización que la Climatización, Iluminación y Computación como los USE de la Facultad, teniendo un consumo de 58,7%, 12,5% y 7,9% respectivamente, sumando a un 79.1% del consumo total de la Facultad. Además, se analizaron los consumos del pasado, con los que se determinó que el consumo de la Facultad no posee correlación con los factores típicos de las líneas base, como temperatura ambiente o mes del año.

Mediante esto, se cumplieron los otros dos objetivos específicos de este trabajo, estableciendo una política y planificación energética coherentes entre sí e identificando oportunidades de eficiencia energética para ser implementadas en la Facultad.

También, se definieron las estructuras de apoyo que son vitales para el correcto funcionamiento del SGE, en las cuales se determinaron los perfiles de cargo y competencias requeridas para cada uno de los cargos establecidos en la sección de liderazgo, permitiendo así que se elija a una persona adecuada para las responsabilidades que acarrea el SGE. En ellos, por ejemplo, se establece que el Líder del Equipo de Gestión de Energía debe ser experto y capaz de entrenar en ámbitos como técnicas de auditoría o incorporación de criterios de eficiencia energética en diseño de proyectos, mientras que un cargo como el del líder de comunicaciones basta con que conozca y sea familiar con estas competencias. También se planteó una estructura base para charlas de concientización hacia la comunidad, que contienen elementos clave como los antecedentes básicos del SGE, la política energética y las USE, junto con actividades y recomendaciones para hacerlas más interesantes y atractivas para la comunidad. Junto con esto, también se estableció una estructura comunicacional, determinando el *qué, cómo y a quien* comunicar elementos del SGE como su efectividad, cambios en el equipo, entre otros. En esta sección también se definió el sistema de

código para los documentos, el cual es de estructura “SGE-Sigla sección-Número de documento: Título del documento” (por ejemplo, SGE-PLA-001: Planificación Energética de la FCFM) para organizar de manera adecuada la información.

En la sección Operación del SGE se establecieron controles operacionales y medidas de seguimiento de mantenimiento para poder controlar de manera cercana los procesos relevantes al SGE. Estos constituyen parámetros de funcionamiento adecuado para varios de los equipos de los USE ya establecidos, con un particular énfasis en climatización, además de métodos de seguimiento de mantención colectiva e individual de los mismos sistemas, permitiendo que estos funcionen de manera adecuada y se ahorre energía. Se establecieron también requerimientos de eficiencia energética en el diseño de proyectos, introduciendo requerimientos de eficiencia energética en cada etapa de ingeniería (conceptual, básica, y de detalle) que permiten mantener la eficiencia energética en foco a lo largo del desarrollo del diseño, además de incluir criterios y requerimientos de eficiencia energética en la adquisición de productos y contratación de servicios, para incluir otra arista bajo la cual se busca disminuir el consumo energético de la Facultad.

Para culminar el diseño del SGE, se establecen formatos, tiempos y procedimientos para revisar lo anteriormente comentado, estableciendo planes y herramientas para una correcta auditoría interna del SGE y la revisión de los planes de acción de la planificación energética. Se plantea una estructura para que la Alta Dirección pueda utilizar todos los inputs del SGE para entregar información y decisiones que permitan atacar las posibles No Conformidades que puedan ser encontradas, además de comunicar los cambios que sean necesarios para el SGE una vez este sea implementado.

El impacto que este diseño de SGE puede tener en el consumo de la Facultad es difícil de cuantificar, sin embargo, analizando la bibliografía relevante y otros casos de éxito, un resultado razonable sería una reducción del 4,5% del consumo, lo que significarían 412,11 MWh/año o cerca de 58 millones de pesos al año, los cuales deberían ir en aumento a medida que las medidas de eficiencia energética y el cambio de cultura de la comunidad se hacen cada vez más profundos y permanentes.

En cuanto a trabajos futuros se trata, lo primero que se recomienda es cumplir al 100% los requisitos de la norma ISO50001:2018, cubriendo las secciones previamente comentadas que se consideran deficientes acorde al Análisis de Brechas: el establecimiento de IDE relevantes con su LBE asociada, y la implementación de controles operacionales que sean más específicos y se integren correctamente con lo que ya está establecido dentro de la Facultad

Además de eso, dado el concepto central de mejora continua del SGE, la Sección de Revisión y Mejora en si misma plantea trabajos futuros que deben ser llevados a cabo para asegurar el correcto desempeño del SGE una vez implementado.

Como en cualquier diseño, existen aspectos mejorables, en primera instancia se considera que sería un buen complemento a este trabajo la cuantificación económica de los objetivos planteados, analizando en más detalle el gasto que esto pudiera acarrear. También se cree que sería útil añadir

los estimados ahorros energéticos, los cuales actualmente son complejos de determinar dada la naturaleza más bien cualitativa de las medidas planteadas. La literatura permite tener un acercamiento a estos valores, pero se plantea que sería ideal el emplazamiento de algún modelo matemático-estadístico que permita tener valores más claros y analíticos en cuanto al desempeño energético se trata.

Además, el diseño de SGE presentado se caracteriza por entregar un marco metodológico y lineamientos generales para su operación y revisión, por lo que otro punto que se considera como oportunidad de mejora es la profundización y ampliación de la información levantada que permitió dar origen al sistema, y de esa forma, entregar un diseño más detallado y específico.

Aun así, pese a las oportunidades de mejora que caracterizan cualquier trabajo, se cumplió con el objetivo general planteado por la investigación, logrando diseñar un Sistema de Gestión de la Energía para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, cumpliendo con todas las secciones que se plantean en la Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía publicado por la Agencia de Sostenibilidad Energética y la gran mayoría de los requisitos planteados por la norma ISO50001:2018.

Se pretende que este SGE funcione como punto de lanza para que las otras Facultades se motiven y realicen investigaciones similares para seguir aportando hacia una Universidad más verde y sustentable.

La implementación de un SGE en la FCFM tendría un impacto positivo en la comunidad estudiantil, ya que se fomentarían las buenas prácticas y el uso racional de la energía en los estudiantes, académicos y funcionarios, mientras que, a nivel organizacional, se generarán nuevas responsabilidades para los administradores de la Facultad, sus asistentes y las respectivas unidades de mantenimiento, con tal de mantener la correcta operación y mejora continua del SGE. Todo esto, decantaría en un mejor desempeño energético, un ambiente más sustentable y ayudar a conocer de manera más íntegra los procesos de la Facultad, sumado, por supuesto, a combatir la siempre permanente amenaza del cambio climático.

Bibliografía

- [1] IPCC, «Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,» Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, 2013.
- [2] *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026*, Santiago: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2022.
- [3] Ministerio de Energía, Decreto 28, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022.
- [4] Ministerio de Energía Gobierno de Chile, Informe Balance Nacional de Energía 2020, Santiago: MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022.
- [5] Consejo Nacional de Producción Limpia, Acuerdo de Producción Limpia: Campus Sustentable, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Gobierno de Chile, 2012.
- [6] Universidad de Chile, «APL II: Acuerdo de producción limpia,» 2021. [En línea]. Available: <https://uchile.cl/u170307>.
- [7] Ministerio de Energía, «Resolución Exenta Ministerial N°32,» 2023.
- [8] Agencia de Sostenibilidad Energética, *Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía basados en ISO50001:2018*, Agencia de Sostenibilidad Energética, 2022.
- [9] International Organization for Standardization (ISO), *ISO50001: Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso*, 2018.
- [10] Clean Energy Ministerial, «ISO 50001 Energy Management System, Case Study,» 2021.
- [11] C. S. R. Rodríguez, Propuesta para la implementación de Sistema de Gestión de la Energía, basado en la norma ISO50001:2018, en los campus Curicó, Linares y Colchagua de la Universidad de Talca, Curicó: Universidad de Talca, 2021.
- [12] Universidad Austral de Chile, «Sistema de Gestión Energética en la UACH,» 2019. [En línea]. Available: <https://campussustentable.uach.cl/sistema-de-gestion-energetica/>.
- [13] CONAF, «Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales».
- [14] Ministerio del Medio Ambiente, «Cambio Climático,» [En línea]. Available: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/>.
- [15] Ministerio de Energía, Ley 21305, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021.

- [16] International Organization for Standardization, ISO50006: Sistemas de Gestión de la Energía — Medición del desempeño energético utilizando líneas base de energía (LBE) e indicadores de desempeño energético (IDE) - Principios generales y orientación, 2015.
- [17] M. D. Behnoush Darabnia, Maintenance an Opportunity for Energy Saving, 2013.
- [18] International Organization for Standardization, ISO19011: Directrices para la auditoria de los sistemas de gestión, 2018.
- [19] Ministerio de Energía, «Gestor Energético».
- [20] Agencia de Sostenibilidad Energética, BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA BASADOS EN ISO50001 Y CASOS DE ÉXITO, 2017.
- [21] Clinical Excellence Commission, «Pareto Charts & 80-20 Rule,» [En línea]. Available: <https://www.cec.health.nsw.gov.au/CEC-Academy/quality-improvement-tools/pareto-charts>.
- [22] R. Pascual, El Arte de Mantener, 2020.
- [23] C. Zaiontz, «Real Statistics Using Excel,» [En línea]. Available: <https://real-statistics.com/>.
- [24] R. Gutierrez, Eficiencia Energética en IES: Diagnóstico y Análisis aplicado a la Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, 2017.
- [25] L. Urrea, *Sistema de Gestión de la Energía, Haciendo conciencia a través de consideraciones energéticas en compras, contrataciones y servicios*, Centro Interuniversitario de Desarrollo, 2019.
- [26] D. Pérez, «Universidad certificó cumplimiento de su Sistema de Gestión de Energía,» 3 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.utralca.cl/noticias/utralca-certifico-cumplimiento-sistema-gestion-energia/>.
- [27] Universidad Austral de Chile, Manual de Gestión Energética, 2019.
- [28] Clean Energy Ministerial, Global Energy Management System Implementation: Case Study, 2017.
- [29] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile., «Beauchef Cambio Climático,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://bcc.ing.uchile.cl/>. [Último acceso: Septiembre 2023].
- [30] MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN, «REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA LAS INSTALACIONES Y OPERACIONES DE PRODUCCIÓN Y REFINACIÓN, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y

- ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS,» 7 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1004120>.
- [31] MINISTERIO DE SALUD, «REGLAMENTO DE CALDERAS, AUTOCLAVES Y EQUIPOS QUE UTILIZAN VAPOR DE AGUA,» 19 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1055319>.
- [32] MINISTERIO DE ENERGÍA, «ESTÁNDAR MÍNIMO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS QUE INDICA,» 11 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100160>.
- [33] MINISTERIO DE ENERGÍA, «REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA LAS INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y OPERACIONES ASOCIADAS,» 12 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1064285>.
- [34] MINISTERIO DE ECONOMÍA, «REGLAMENTO DE INSTALACIONES INTERIORES Y MEDIDORES DE GAS,» 19 Julio 2007. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=263058>.
- [35] MINISTERIO DE ENERGÍA, «REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1143069>.
- [36] MINISTERIO DE SALUD, «REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BASICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766>.
- [37] Agencia de Sostenibilidad Energética, «Guía Metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión,» 2014.
- [38] Red Campus Sustentable, Instructivo de Aplicación de Criterios Sustentables en Compras de Bienes o Contratación de Servicios en Instituciones de Educación Superior, 2022.
- [39] Universidad de Chile, «APL II: Acuerdo de producción limpia,» 2022. [En línea]. Available: <https://uchile.cl/u170307>.
- [40] Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad FCFM, «Diagnóstico de Línea Base Energético 2022,» 2023.
- [41] The Energy and Resources Institute, «Cooling homes.....heated pockets,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.teriin.org/opinion/cooling-homesheated-pockets>.

- [42] R. Reyes, «Implementación de la Estrategia de Sostenibilidad Institucional,» de *Seminario: Gestión Sustentable de Campus 2023*, Santiago, 2023.
- [43] Real Academia Española, «Diccionario de la lengua española,» 2014. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/energ%C3%ADa>. [Último acceso: 2023].
- [44] EIA, «What is energy?,» 27 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>. [Último acceso: Agosto 2023].
- [45] D. Maradin, «Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources,» *International Journal of Energy Economics and Policy* | Vol 11 • Issue 3 • 2021176, vol. 11, n° 3, pp. 176-183, 2021.
- [46] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2022*, 2022.
- [47] IEA, *World gross electricity production by source*, Paris: IEA, 2019.
- [48] IEA, *Total primary energy supply by fuel, 1971 and 2019*, Paris: IEA, 2019.
- [49] EIA, «Coal explained: Coal and the environment,» U.S Energy Information Administration, 16 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/coal-and-the-environment.php>.
- [50] NASA, «The Effects of Climate Change,» [En línea]. Available: <https://climate.nasa.gov/effects/>.
- [51] United States Environmental Protection Agency, «U.S. Environmental Protection Agency,» 22 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/statelocalenergy/local-energy-efficiency-benefits-and-opportunities#:~:text=Benefits%20of%20Energy%20Efficiency,-Using%20energy%20more&text=Environmental%3A%20Increased%20efficiency%20can%20lower,well%20as%20decrease%20water%20use..>
- [52] RAE, «Diccionario de la lengua española,» 2014. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/eficiencia>. [Último acceso: Agosto 2023].
- [53] ONU, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [54] ONU, «Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>. [Último acceso: Agosto 2023].
- [55] ONU, «Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.

- [56] ONU, «Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>.
- [57] ONU, «Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.
- [58] Sustainable Energy For All, Africa Renewable Energy Manufacturing: Opportunity and Advancement.
- [59] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, «SOBRE LA FCFM,» [En línea]. Available: <https://ingenieria.uchile.cl/sobre-la-fcfm>. [Último acceso: Septiembre 2023].
- [60] Dirección de Sostenibilidad Universidad Andrés Bello, «Energía,» [En línea]. Available: <https://sostenibilidad.unab.cl/energia/>.

Anexos

Anexo A: Energía y sus fuentes

Energía: Capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo [43]

La energía es un concepto bastante amplio, es importante referirse a que *energía* no solo se limita a la electricidad, sino que al *trabajo* que puede ser realizado, el que puede ser muy variado, como el movimiento de objetos, generación o extracción de calor, iluminar estructuras, entre muchas otras [44]. Las fuentes para la energía son tan variadas como sus usos, pudiendo ser categorizadas, por ejemplo, en renovables y no renovables.

Las energías renovables provienen de recursos que se reabastecen naturalmente con el paso del tiempo. Los principales ejemplos de energías renovables son la solar, geotérmica, eólica, biomasa e hidroeléctrica. [44]

Por otro lado, las energías no renovables provienen de recursos que no se reabastecen naturalmente, o que no lo harán en un tiempo tal que se pueda ver su reaparición durante una vida humana promedio. Ejemplos de estos son los hidrocarburos, como el petróleo, carbón y el gas natural. [44]

Una de las principales ventajas de las energías renovables es que el ciclo de una planta de potencia que las utilice (por ejemplo, energía, hídrica, eólica, etc.), posee emisiones extremadamente bajas o despreciables, variando entre 0,021 (eólica) y 0,156 (biomasa) kg de CO_2 equivalente por kWh producido, lo cual es extremadamente menor comparado, por ejemplo, a los 1.280 kg de CO_2 equivalente por kWh del carbón. Sin embargo, poseen desventajas debido a la inherente volatilidad de sus fuentes, usualmente dependientes de locaciones geográficas o condiciones climáticas específicas, lo que hace que no puedan ser la única fuente de energía de una comunidad, y tengan que ser integradas a redes que también funcionen con energías no renovables. Además, son relativamente más caras de establecer y mantener, además de ser menos eficientes que plantas de energía no renovable. [45]

Las energías no renovables, son más fáciles y rápidas de extraer, sumado a una infraestructura que lleva siendo utilizada desde la revolución industrial, permite entregar energía de manera mucho más simple que las renovables, sin embargo, esto viene al costo de producciones de gases de efecto invernadero en cantidades altísimas y profundos efectos medioambientales en la extracción de los recursos. [45]

La oferta energética también depende directamente de factores internacionales, como lo son relaciones políticas o las guerras [46], haciendo que el precio y la demanda de los combustibles y la energía en general cambien de manera vertiginosa; particularmente al referirse a las emisiones de CO_2 estas volvieron a aumentar a un valor de 36,6 Gt en el 2021.

La utilización de electricidad es actualmente un 20% del consumo energético total del mundo, y tiene escenarios proyectados de hasta un 50% para el 2050 [47]. En la Ilustración 26 se aprecia la

producción eléctrica mundial, evidenciando que hasta el año 2019 el carbón aún sigue teniendo el mayor porcentaje de esta (36,7%). Por otro lado, en la Ilustración 27 [48] se ve como el petróleo y el carbón representan más del 50% de la producción energética mundial; sólo viendo este último se pueden comentar los riesgos ambientales presentes, como la emisión de gases de efecto invernadero, metales pesados y otros objetos particulados. Por ejemplo, en los Estados Unidos, “*las emisiones producto de la quema de carbón para energía suman un 20% del total de las emisiones totales relacionadas a la energía, y casi un 60% del total de las emisiones totales del sector eléctrico*” [49]. Además de ello, la generación de electricidad mediante combustibles asciende a un 57,1% del total energético en países que forman parte de la OCDE, y un 71,1% de países que no [47]. Esto habla de una problemática que se viene arrastrando desde la etapa de producción energética, y que, si bien se encuentra fuera de los alcances de este trabajo, habla de la imperante necesidad de usar de mejor forma los recursos que ya se poseen.

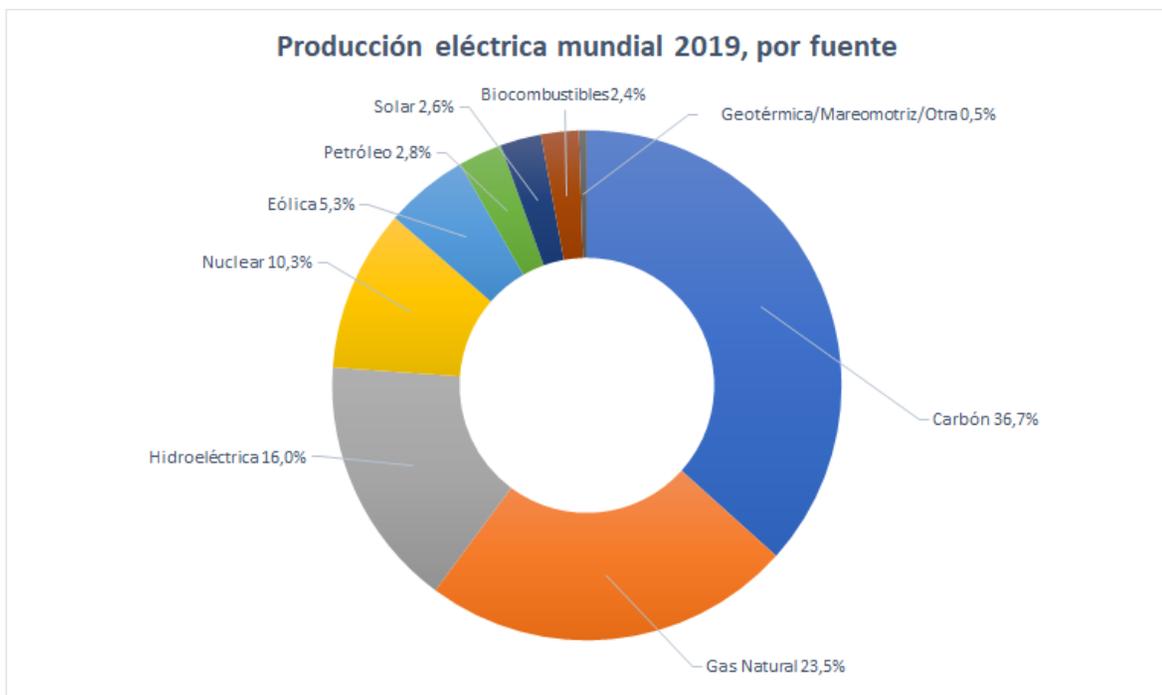


Ilustración 26 Producción eléctrica mundial por fuente, 2019, elaboración propia basado de IEA, 2019 [47]

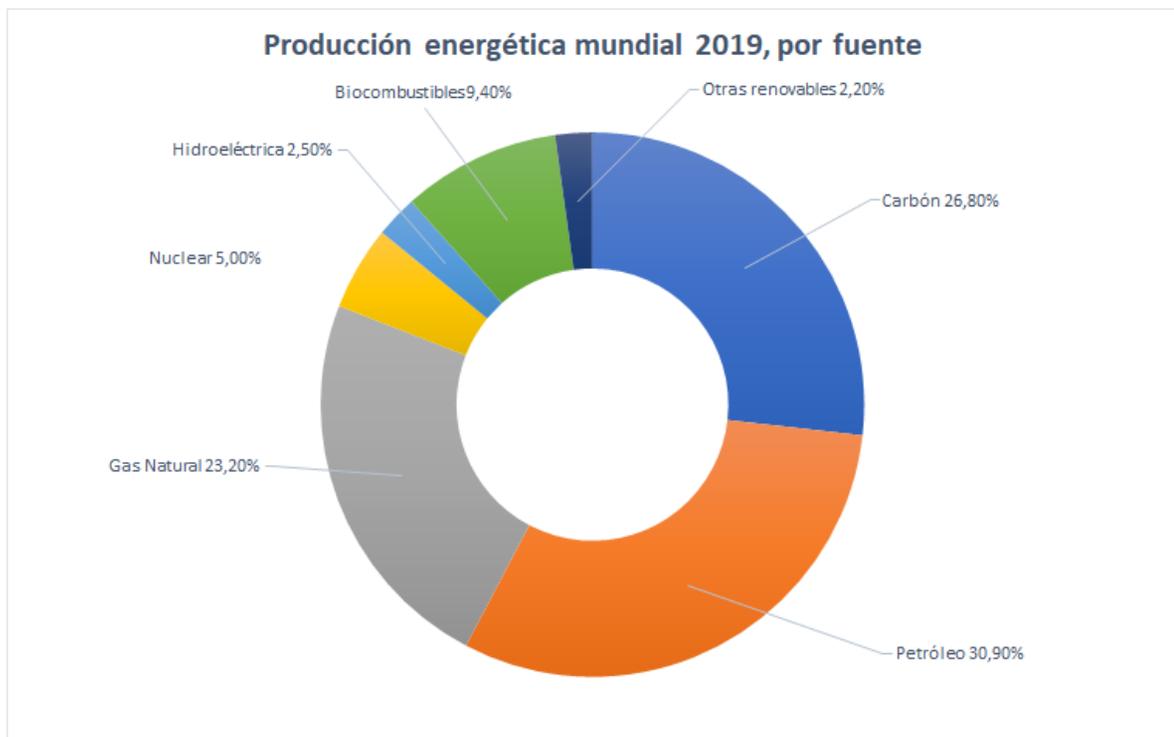


Ilustración 27 Producción energética mundial por fuente, 2019, elaboración propia basado de IEA, 2019 [48]

Pese al corto tiempo que lleva siendo relevante en escala geológica, el cambio climático es uno de los mayores problemas del holoceno, acorde a la NASA, *“los efectos del calentamiento global causado por el humano están sucediendo ahora, son irreversibles para las personas vivas actualmente y solo empeorarán mientras los humanos añadan gases de invernadero a la atmósfera”* [50]. La Tierra experimentará cambios, como sequías, incendios forestales y lluvias extremas mucho más rápido de lo que inicialmente se creía, y la severidad de estos efectos causados por el cambio climático dependerán de las acciones que nosotros como humanidad tomemos. Se le debe dar particular énfasis a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, ya que estos son los que llevan a más extremos climáticos y la expansión de los efectos antes mencionados; si es que se logra reducirlos, podríamos evitar algunos de los peores efectos del cambio climático [50].

Acorde a la *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, *“usar la energía de manera más eficiente es uno de los métodos más costo efectivos de ahorrar dinero, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, crear trabajos, y cumplir una demanda energética creciente”* [51], demostrando nuevamente la importancia de conocer y gestionar adecuadamente este recurso.

No es sorpresa entonces, que existan medidas a distintos niveles sociales, institucionales y gubernamentales que tengan por objetivo alcanzar mayor eficiencia energética, incrementar el desarrollo tecnológico, un aumento en la sustentabilidad de los procesos y un futuro más verde, algunas de las cuales serán exploradas en la siguiente sección.

Anexo B: Medidas de Eficiencia Energética

Eficiencia: Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos. [52]

Mejorar la eficiencia energética de una institución, organización, o cualquier otro proceso que lo necesite no se trata de simplemente gastar menos recursos, se trata de alcanzar lo mismo, o incluso más, gastando los mismos recursos. Diversas organizaciones llevan años implementando medidas para mejorarla.

Para ilustrar sus objetivos y enmarcar correctamente este trabajo, a continuación, se verán medidas a nivel internacional, nacional e institucional.

Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU

Estos son un conjunto de 17 objetivos globales que tienen como propósito “(...) *erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible*” [53]. Esto lo hacen planteando un funcionamiento integrado, buscando equilibrar sostenibilidad social, económica y ambiental, donde el avance en cada uno de los objetivos permite a su vez un desarrollo en los otros [54]. Relevantes para este trabajo son el siete, nueve y once:

Objetivo 7: Energía Asequible y No Contaminante



Está orientado a alcanzar una sostenibilidad y amplia disponibilidad para la energía, con enfoques en la eficiencia energética, acceso a la energía, y la energía renovable. Posee como metas de aquí al 2030 garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, además de aumentar considerablemente la proporción de energía renovable frente a otras fuentes energéticas. Para la misma fecha busca duplicar la tasa de eficiencia energética y aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación, tecnologías de energía limpia y eficiencia energética, y promover la inversión en proyectos e iniciativas de esta índole. Esto es tomando en consideración que la energía es el factor que más contribuye al cambio climático y representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero [55].

Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructuras



Está orientado a una industrialización inclusiva y sostenible, con énfasis en la innovación y el progreso tecnológico para alcanzar esos fines. Tiene como metas de aquí al 2030 modernizar la infraestructura y reconvertir industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos de manera más eficiente y eficaz, promoviendo que los países tomen medidas dentro de sus capacidades para promover las tecnologías limpias y ambientalmente racionales. [56]

Ciudades y Comunidades Sostenibles



Las ciudades y las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del uso de recursos, por lo cual es necesario plantear metas y objetivos claros para alcanzar sostenibilidad. Como metas, de aquí al 2030 se busca proporcionar acceso a medios de transporte sostenibles, aumentar

la urbanización inclusiva y sostenible, reducir el impacto per cápita de las ciudades en el cambio climático y aumentar considerablemente el número de ciudades que adoptan e implementan políticas y planes integrados para el uso eficiente de recursos. [57]

Estos objetivos están planteados en función de que organismos de todo estamento participen: como gobiernos, sector privado, sociedad civil y personas individuales.

Como ejemplo de medidas enmarcadas en los objetivos descritos se puede encontrar la iniciativa “*Renewable Energy Manufacturing Initiative*” para África, desarrollada en conjunto por la ONU y la organización internacional *Sustainable Energy for All*. Esta, establece planes de desarrollo y manufactura de energías renovables para alimentar la creciente demanda energética del continente, la cual se espera que sea de 180 GW para el 2030, y de 1,2 TW para el 2050 (Objetivo 7). [58]

Otro ejemplo es el fomento del aumento del gasto mundial en investigación y desarrollo (I+D) como proporción del PIB, lo que ha significado un aumento del 1,69% al 1,93% en 2020, sumado a un aumento de la cantidad de investigadores por millón de habitantes, aumentando de 1022 en 2010 a 1342 en 2022 (Objetivo 9). [56]

Trabajos como los realizados en el marco de la implementación y operación de un SGE, ya que, como se verá más adelante, permiten conocer el consumo energético de las instituciones y en base a eso tomar decisiones adecuadas para una mejor gestión del recurso energético (Objetivo 11).

Anexo C: Documentos del SGE

Todos los documentos del SGE pueden ser accedidos mediante esta sección, en ella se encuentran los enlaces a una carpeta de OneDrive que presenta los archivos en formato PDF y nativo (Word, Excel, PPT, etc.) según corresponda. Si es que en algún minuto estos dejan de funcionar no duden en contactarme a mi correo y se los haré llegar: pascal.griott@ug.uchile.cl o paskalgriott@gmail.com

Contexto de la Organización

[SGE-CON-001: Contexto de la Organización](#)

[SGE-CON-002: Partes Interesadas](#)

[SGE-CON-003: Corroboración de Requisitos Legales del SGE](#)

[SGE-CON-004: FODA](#)

[SGE-CON-005: Mapa de Procesos](#)

[SGE-CON-006: Análisis de Brechas](#)

[Archivos en formato original](#)

Liderazgo

[SGE-LID-001: Liderazgo en el SGE](#)

[SGE-LID-002: Política Energética](#)

[Archivos en formato original](#)

Planificación

[SGE-PLA-001: Planificación Energética de la FCFM](#)

[SGE-PLA-002: Línea Base Energética](#)

[SGE-PLA-003: Riesgos y Oportunidades](#)

[SGE-PLA-004: Planes de Acción](#)

[SGE-PLA-004.1: Remarcadores](#)

[SGE-PLA-004.2: Reducción de Malas Prácticas](#)

[SGE-PLA-004.3: Fomento de Desarrollo Investigativo](#)

[SGE-PLA-004.4: Estudio de implementación de IDE](#)

[Archivos en formato original](#)

Apoyo

[SGE-APO-001: Listado de documentos y registros maestro](#)

[SGE-APO-002: Estructura de Apoyo del SGE](#)

[SGE-APO-003: Matriz de Comunicaciones](#)

[SGE-APO-004: Matriz de Competencias](#)

[SGE-APO-005: Resumen del SGE](#)

[Archivos en formato original](#)

Operación

[SGE-OPE-001: Operación al Interior del SGE](#)

[SGE-OPE-002: Matriz de Control Operacional](#)

[SGE-OPE-003: Planes de Mantenimiento de Equipos](#)

[SGE-OPE-004: Registro de mantenimiento de equipo](#)

[SGE-OPE-005: Chequeo Básico de Antecedentes Energéticos](#)

[SGE-OPE-006: Matriz de Priorización de OMEE](#)

[SGE-OPE-007: Valorización Económica y Análisis Comparativo de OMEE](#)

[SGE-OPE-008: Formulario de compras y/o contratación de servicios](#)

[Archivos en formato original](#)

Revisión

[SGE-REV-001: Revisión y Mejora del SGE](#)

[SGE-REV-002: Matriz de Monitoreo del SGE](#)

[SGE-REV-003: Cronograma de Auditorías](#)

[SGE-REV-004: Planificación y Hallazgos de Auditoría Interna](#)

[SGE-REV-005: Registro de Reunión de Alta Dirección](#)

[SGE-REV-006: Registro de No Conformidades](#)

[SGE-REV-007: Chequeo Rápido de Requisitos de Norma ISO50001:2018](#)

[SGE-REV-008: Chequeo de Cumplimiento de Planes de Acción](#)

[Archivos en formato original](#)

Manual del Sistema de Gestión de Energía

[SGE-MAN-001: Manual del Sistema de Gestión de Energía](#)

[Archivo en formato original](#)