

# acción 4.15

## PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA

Facultad de  
Ciencias Físicas y Matemáticas



El presente documento se elaboró en base al Diagnóstico de Línea de Base Energético y los Informes de Auditoría Energética gestionados por la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS) en cumplimiento con las Acciones 4.13 y 4.14 del APL II al que la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas se ha suscrito. Este plan establece:

- Objetivo
- Meta
- Responsable
- Identificación de buenas prácticas y mejores técnicas disponibles
- Identificación y priorización de oportunidades de mejora de desempeño energético
- Evaluación técnica, económica de oportunidades de mejora.
- Cronograma de implementación de oportunidades de mejora identificadas

## ANTECEDENTES

---

El primer semestre del año 2023, por parte de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS), se realizó la entrega del Informe de Auditoría Energética y el Diagnóstico de Línea de Base Energético para el año 2022. Estos documentos entregaron resultados acerca de:

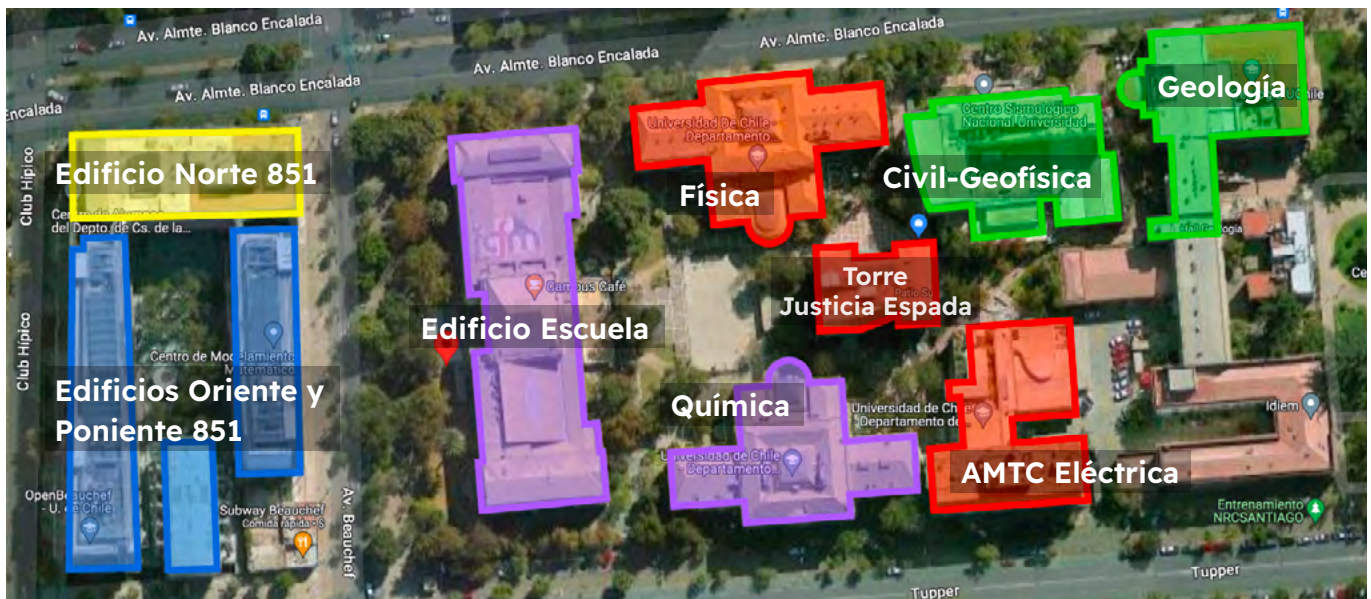
1. Las fuentes energéticas presentes en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM).
2. El consumo energético anual de la FCFM y su distribución mensual.
3. La distribución del consumo energético por actividad.
4. Los usos significativos de energía.

Los contenidos de estos documentos pueden hallarse como parte de las acciones 4.14 y 4.13 del APL II al que la FCFM se suscribió junto con la Agencia de Sostenibilidad Energética y la Red Campus Sustentable.






# Resultados antecedentes

A partir de estos estudios se encontró que las conexiones a la red de distribución eléctrica de la FCFM se realizan en 5 puntos o empalmes.

Figura 1: Distribución eléctrica de la FCFM

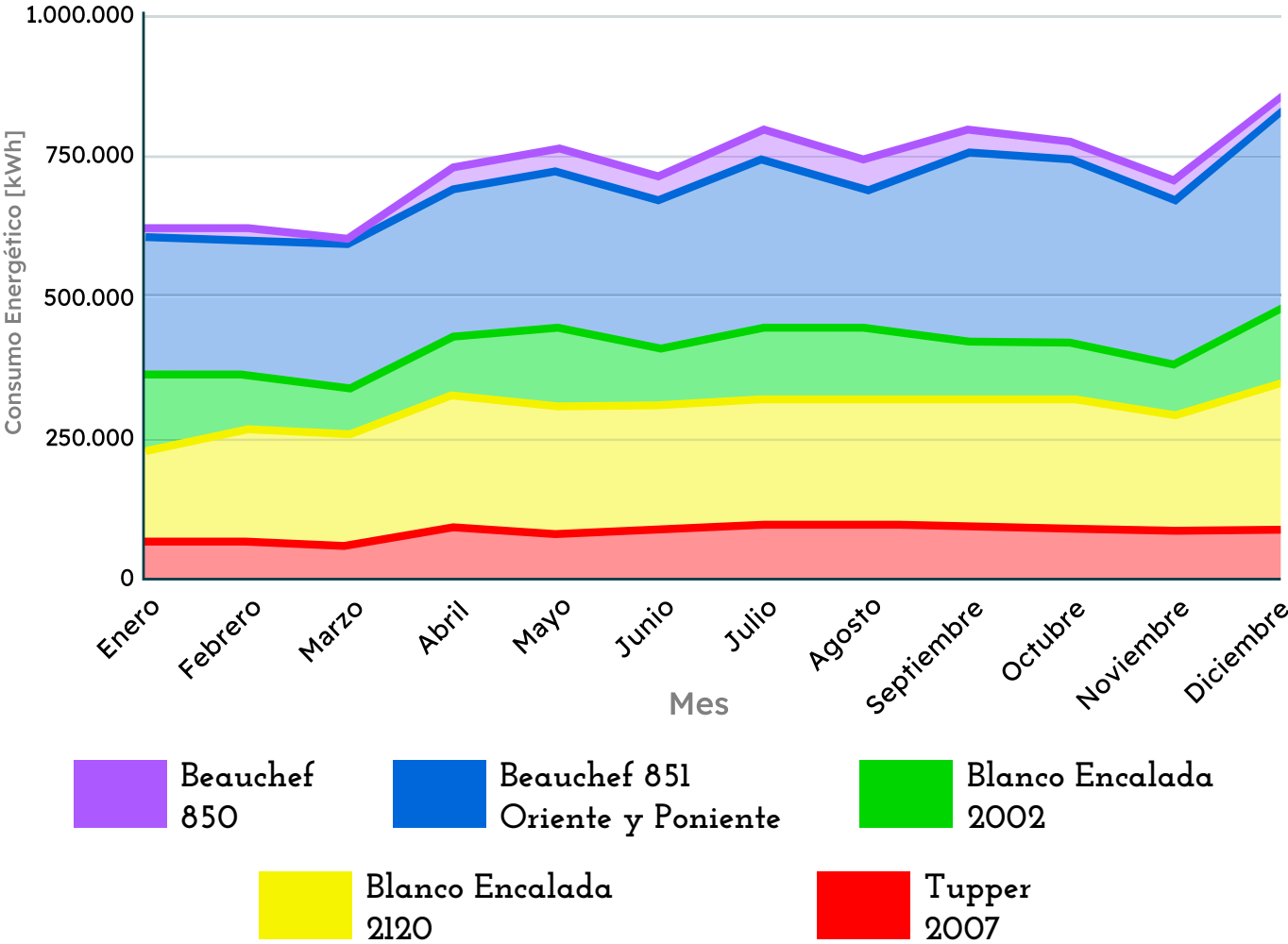


EMPALMES:

-  Blanco Encalada 2120
-  Beauchef 851 Oriente y Poniente
-  Tupper 2007
-  Beauchef 850
-  Blanco Encalada 2002

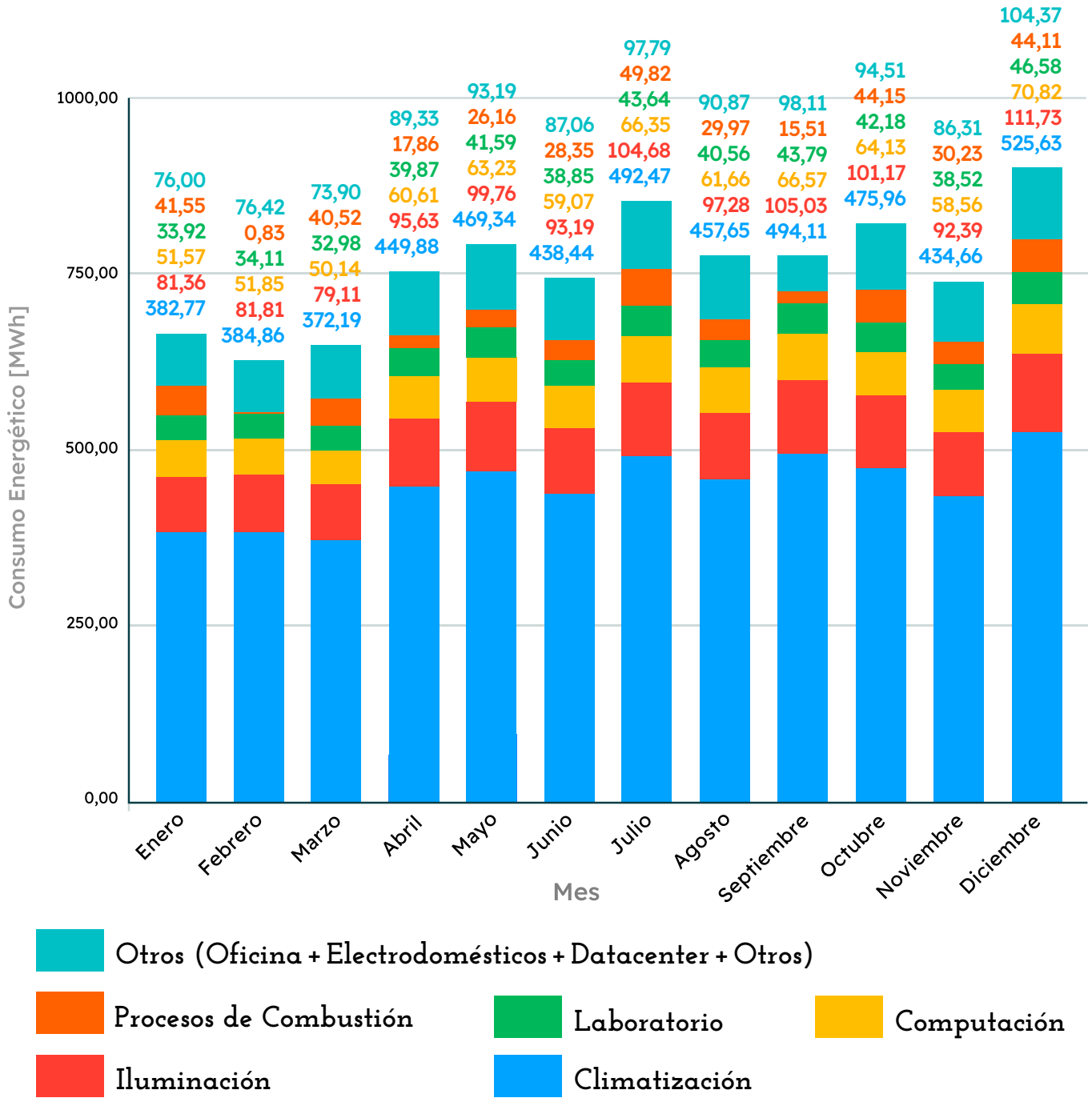
De estos empalmes algunos consideran más de un edificio en la cuenta mensual de consumo energético. El consumo energético por electricidad para el año 2022 se distribuye como se muestra en el siguiente gráfico.

**Figura 2:** Consumo Energético Mensual [kWh]



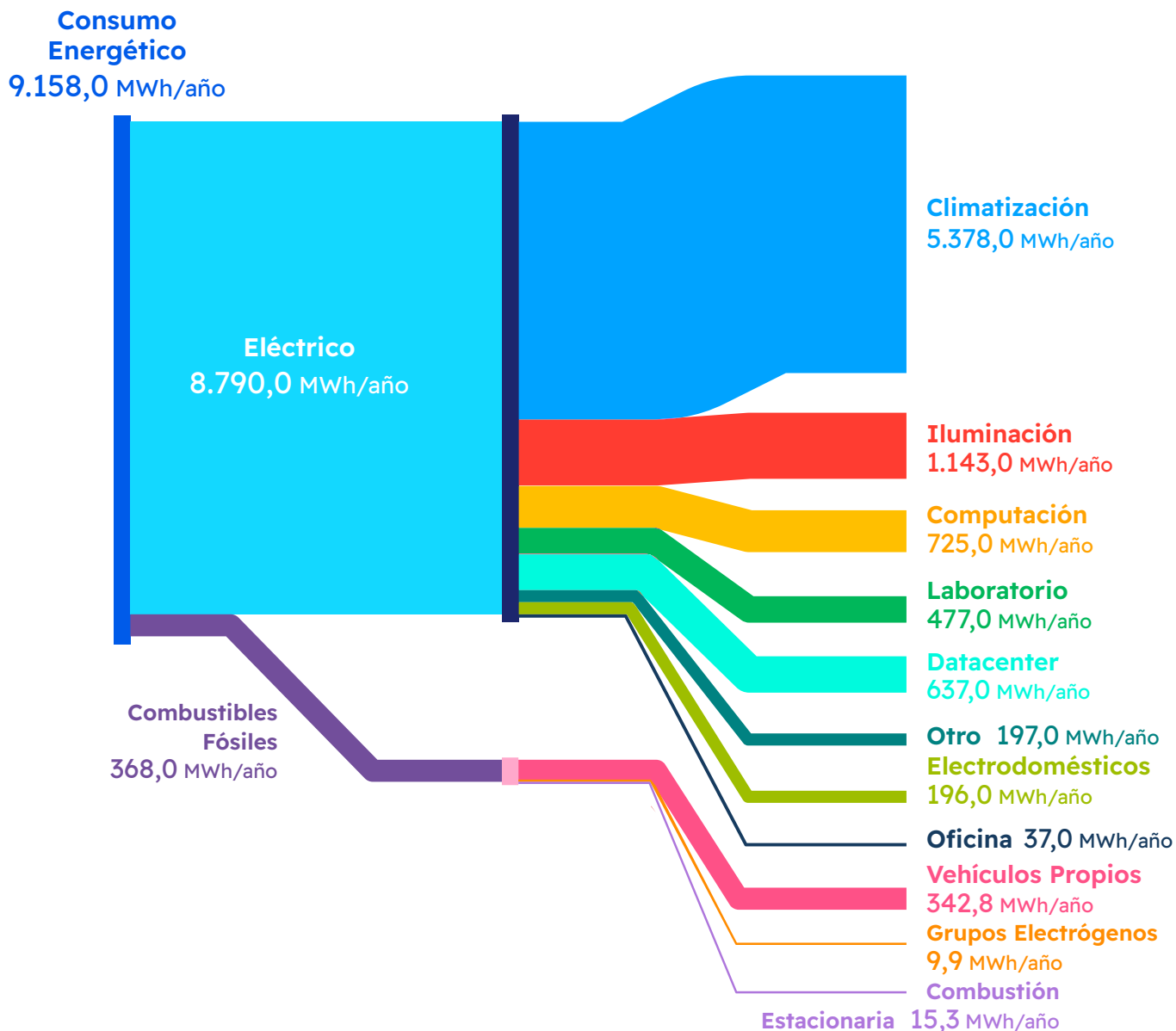
De estos empalmes algunos consideran más de un edificio en la cuenta mensual de consumo energético. El consumo energético por electricidad para el año 2022 se distribuye como se muestra en el siguiente gráfico.

**Figura 3:** Uso de Energía en la FCFM por Actividad Mensualizada, Año 2022



A partir de los datos encontrados se presenta a continuación el diagrama de Sankey de la FCFM que contabiliza todos los flujos energéticos para el año 2022.

**Figura 4:** Diagrama de Sankey, FCFM, Año 2022



Finalmente, respecto a los usos significativos de energía, se encontró que en la FCFM existen los siguientes puntos críticos de consumo energético:

- **Climatización:** Representando casi un 59% del consumo energético anual, destaca como la actividad de mayor consumo energético de la FCFM. Este sistema se divide en equipos de bajo y alto consumo, donde este último permite la calefacción centralizada de edificios completos, como Beauchef 851 Oriente y Poniente, pero además considera la calefacción de la piscina, de las duchas, bombas de calor, etc.

Respecto a los equipos de bajo consumo, representan una menor incidencia en el consumo energético anual pero este depende por completo de los patrones de uso dados por cada usuario.

- **Iluminación:** Siendo un 12,5% del consumo energético anual del Campus esta actividad se posiciona como la segunda en consumo energético. Los equipos asociados a este sistema se caracterizan por tener una gran diversidad de tecnologías, una gran número de equipos y altas horas de uso. Como principal problema se identifica un gran número de equipos fluorescentes menos eficientes que la tecnología LED.
- **Computación:** Esta actividad se posiciona como el tercer consumo energético más alto de la facultad. Los equipos aquí contabilizados no presentan altas potencias pero se caracterizan por gran número de equipos, presencia transversal en el campus, y uso regular y dependiente de los usuarios.
- **Almacenamiento de datos:** Dentro de la FCFM existen diversas habitaciones con equipos Datacenter o servidores, entre los cuales destacan tres por su alta potencia y tamaño, la sala de servidores de Beauchef 851 Norte, la central de información del Edificio de Eléctrica y el Área de Infotecnologías ADI del Edificio Escuela. Los equipos asociados a esta actividad representan un 7% del consumo energético de la facultad.

Destaca dentro de esta actividad la climatización asociada al Centro de Datos de la Facultad, el cual representa un 21% del consumo energético del ítem de climatización.



# PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA FCFM

---

## Responsable

---

Las unidades responsables de velar por el cumplimiento del Plan de Gestión Energética descrito corresponden a la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad en coordinación con la Oficina de Administración e Infraestructura de la Dirección Económica y Administrativa de la FCFM.

## Objetivos

---

El Plan de Gestión Energética tiene por objetivo promover un consumo energético responsable con miras a la eficiencia y ahorro energético en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Para su cumplimiento se definen los siguientes objetivos específicos:

- Implementar mecanismos de registro y monitoreo del consumo energético.
- Mejorar la eficiencia energética de las instalaciones del Campus mediante la aplicación de tecnologías e instrumentos.
- Sensibilizar a la comunidad de la FCFM acerca de gestión y eficiencia energética.
- Promover la generación eléctrica mediante energías renovables para el autoconsumo.

# METAS Y ACTIVIDADES A CORTO Y MEDIANO PLAZO

---

## ACTIVIDADES A CORTO PLAZO

Se califican como actividades a corto plazo aquellas que se realizarán en los dos siguientes años a partir de la redacción de este informe. Es decir, durante los años 2024 y 2025.

### **META: Oficializar el registro y monitoreo del consumo energético**

---

#### Actividades:

- Se registrará de manera mensual los consumos energéticos de los empalmes relevantes de la FCFM.
- Se registrará de manera anual la compra de combustibles por parte de la FCFM.

### **META: Mejorar la eficiencia y el desempeño energético local en el Campus**

---

#### Actividades:

- Realizar una reunión de coordinación con el área de Administración e Infraestructura al comienzo de cada período universitario para determinar las zonas críticas de alto consumo energético donde se implementarán proyectos de eficiencia de acuerdo al presupuesto anual.
- Realizar actividades de mantenimiento preventivo y limpieza de equipos en diversas áreas de la FCFM.
- Mejorar la eficiencia energética en la iluminación mediante la instalación de mejores tecnologías y sensores de proximidad.
- Realizar seguimiento y generar indicadores de mejora de desempeño energético en proyectos locales dentro de la FCFM, como cambios de equipos de iluminación.
- Elaboración de un instructivo para aplicación de criterios de eficiencia energética en adquisiciones dentro de la FCFM.

- Comunicar y acompañar a las unidades de compra de la FCFM para incentivar la inclusión de criterios de eficiencia energética en sus adquisiciones.
- Se repensarán las ubicaciones de ciertos puestos de trabajo que requieren de combustión estacionaria para disminuir el consumo de gas licuado.

## **META: Sensibilizar a la comunidad local respecto al uso y la administración de la energía**

### **Actividades:**

- Realizar jornadas de orientación de buenas prácticas para el desempeño energético en oficinas.
- Difundir buenas prácticas energéticas en los espacios de trabajo a personal de colaboración académico y no académico.
- Imprimir y difundir un resumen de buenas prácticas en oficinas en relación al uso energético.
- Comunicar y sensibilizar a la comunidad respecto a temas relativos al uso de la energía a través de las plataformas digitales de la FCFM.
- Comunicar a la comunidad acerca de los resultados del registro y monitoreo de los principales sectores de la FCFM.
- Implementar informativos sobre cuánto afectan las decisiones de los usuarios al consumo energético.
- Comunicar a la comunidad los resultados energéticos relevantes en proyectos locales implementados, como cambios de equipos de iluminación u otros equipos.

## ACTIVIDADES A MEDIANO PLAZO

Se califican como metas y acciones a mediano plazo aquellas que se realizarán desde la presentación de este informe hasta el año 2030.

### **META: Robustecer el sistema de registro y monitoreo energético de la FCFM**

#### Actividades:

- Cada cinco años se realizará un Diagnóstico de Línea de Base Energético que determine:
  - Cantidad de energía utilizada anualmente en el Campus.
  - Tipificación y cuantificación de fuentes de energía.
  - Cuantificación del uso de la energía en la FCFM.
- Analizar la instalación de remarcadores de energía por Edificio para el monitoreo en línea y por diversos usos energéticos.

### **META: Crear una cultura orientada a la buena administración energética en el personal de colaboración de la FCFM**

#### Actividades:

- Promover la capacitación en materias energéticas en el personal relacionado a la administración de este recurso.
- Realizar jornadas de capacitación al personal de colaboración general para la buena administración del recurso energético en espacios como oficinas y baños.

### **META: Generar indicadores locales de desempeño energético para la buena administración futura**

#### Actividades:

- Determinación de indicadores de desempeño energético por zonas como salas de clase, pasillos, áreas exteriores, estacionamientos, oficinas, etc.

## **META: Incentivar la instalación de energías renovables para la autogeneración eléctrica en los establecimientos pertenecientes a la FCFM**

### **Actividades:**

- Analizar la factibilidad técnica de instalar plantas generadoras de energías renovables en otros recintos pertenecientes a la FCFM como Cerro Calán.
- Aumentar la autogeneración de energía eléctrica con una meta de 500 kW de potencia instalada al 2030.

## **META: Robustecer la administración energética del Campus mediante elementos estratégicos**

### **Actividades:**

- Promover el desarrollo de un Sistema de Gestión Energética SGE para la Facultad.
- Incorporar institucionalmente labores relacionadas a la administración y planificación del sector energía a la estructura organizacional de la Facultad.

# IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS

---

Las buenas prácticas se definen como el conjunto de acciones o métodos probados y validados mediante la experiencia de usuarios, con el propósito de mejorar la gestión energética del campus. A continuación, se presenta una lista de las buenas prácticas identificadas, destacando su relevancia en la promoción de la eficiencia energética y la sostenibilidad:

## **Buenas prácticas asociadas a la mantención**

---

- Realizar mantenimiento y limpieza oportuna en los equipos de consumo energético. Al mismo tiempo registrar aquellos que necesiten recambio sea por falla o disminución de su capacidad.

## **Buenas prácticas asociadas a adquisiciones**

---

- Preferir la compra de equipos con mejor eficiencia energética.

## **Buenas prácticas asociadas al uso de equipos de climatización de bajo consumo**

---

Debido a que el consumo en equipos de climatización de bajo consumo: calefactores, ventiladores, aire acondicionado split, etc. representa cerca de un 6% del consumo energético anual de toda la FCFM, se proponen las siguientes buenas prácticas:

- Utilizar equipos con ventanas y puertas cerradas, y evitando utilizarlos en sectores de grandes dimensiones, disminuyendo la pérdida de energía.
- Vestir ropa adecuada para la temporada, con especial atención en el calzado.
- Promover el ajuste de los equipos de clima en 21°C en invierno y 23°C en verano.

## **Buenas prácticas asociadas al uso de equipos de iluminación**

Considerando que el consumo energético anual asociado a iluminación corresponde al 12,5% del total se proponen las siguientes buenas prácticas:

- Evitar el encendido de luces cuando la luz natural es suficiente con especial atención en las horas cercanas al mediodía.
- Apagar las luces innecesariamente encendidas.

## **Buenas prácticas asociadas al uso de equipos de computación**

Considerando que el consumo energético anual asociado a equipos de computación corresponde al 7,9% del consumo total se propone:

- Apagar equipos de computación cuando no estén siendo utilizados, colocando especial atención a periodos como el almuerzo o fuera del horario laboral.
- Implementar los modos de ahorro de energía en aquellos equipos que aún no cuenten con aquello.
- Evitar el uso de impresoras fomentando la utilización de protocolos y medios digitales.
- Promover el apagado o suspensión de los equipos de computación en las salas de clases al finalizar cada periodo lectivo.

# MEJORAS TÉCNICAS DISPONIBLES

---

Las mejoras técnicas se entienden como las actualizaciones, ajustes o implementaciones de tecnologías que permitan una mejor gestión energética dentro de la Facultad. Estas se definen a partir de los objetivos y metas anteriormente definidos.

## Mejoras técnicas asociadas al recambio tecnológico

---

- Cambiar aquellos equipos que alcanzaron el fin de su vida útil o presentan fallas y disminuciones importantes de sus capacidades técnicas por otros que presentan mejores rendimientos energéticos. Se enfatizará especialmente en:
  - Equipos de clima.
  - Equipos de computación.
  - Equipos de iluminación.

## Mejoras técnicas asociadas a la instalación de energía

---

- Instalar sensores de presencia, movimiento o luminosidad en aquellas instalaciones que lo requieran.
- Instalar remarcadores para el monitoreo del uso de la energía en diversas áreas locales.

## Mejoras técnicas asociadas a la eficiencia en la aislación térmica

---

- Instalar o mejorar la aislación térmica en aquellas zonas que presentan un alto consumo energético debido a la climatización.



# OPORTUNIDADES DE MEJORA DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN LA FCFM

Si bien en el estudio de línea base del sector energético de la FCFM se concluyó que era complejo asignar un indicador de desempeño energético a todo el Campus dada la naturaleza y diversidad de las actividades realizadas ahí, sí se puede avanzar en algunas áreas.

En ese sentido, el poder monitorear de manera más específica el uso que se le está dando a la energía en los sectores más locales del Campus es parte del análisis que se desea realizar.

## Instalación de medidores de consumo energético intermedios

Una de las principales complicaciones encontradas al establecer la línea base de consumo energético fue la limitada comprensión del verdadero consumo energético de los edificios de manera individual. Esto se debió en gran medida a que muchos de ellos compartían un mismo punto de conexión, medidor eléctrico o empalme. Es por ello que se propone la instalación de medidores de consumo energético intermedios, que

permitan conocer o separar el consumo energético real entre los edificios. Para decidir las dependencias beneficiadas se utilizaron criterios de: porcentaje del consumo eléctrico total estimado, variabilidad de los usos energéticos e incertidumbre de consumos. La oportunidad además se dividió en dos etapas separadas para disminuir costos instantáneos y priorizar por importancia.

Empalme/Edificios	Medidores Etapa 1	Cantidad	Medidores Etapa 2	Cantidad
3042290-2 Beauchef 851 Oriente-Poniente	Ninguno	0	Por definir	-
177946-K Beauchef 851 Norte	Medidor para el consumo energético del área de servidores, climatización y computación	1	Ninguno	0
2556131-7 Geología y Geofísica-Civil	Medidor para Geología	1	Medidores para Geofísica y para Civil, especial consideración a los laboratorios	2
177949-4 Escuela, Química/ Minas e IDIEM	Medidores para Escuela y Química	2	Medidor para IDIEM	1
177950-8 Torre Justicia Espada, Física y Eléctrica	Medidor para Física y Eléctrica	2	Medidor para Torre Justicia Espada y para la separación de AMTC/ Electrotecnologías	2
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas	Total	6	Total	5

Los remarcadores a instalar deben ser capaces de medir el consumo energético en tiempo real de manera que sea posible analizar el comportamiento de los usos del edificio y con ello tomar decisiones informadas. El precio de estos equipos puede variar entre los \$400.000 y los \$750.000 pesos chilenos, dependiendo de características como si consideran conexión remota, software de análisis incluido, etc. En el presente análisis se está considerando el precio más alto.

Otra oportunidad de mejora ocurre dada las variadas edades de las infraestructuras del Campus, ya que esto permitió una alta diversidad de equipos asociados a iluminación, cuyo consumo energético sólo es superado por la energía consumida en climatización. El consumo en iluminación puede ser disminuido al renovar los equipos asociados por unos más eficientes o automatizar el encendido y apagado de estos.

## Recambio de equipos de iluminación

Al estudiar los consumos energéticos en iluminación de la Facultad y los equipos que influyen en esto, destacan las dependencias de Beauchef 851 Oriente y Poniente. Estas presentan un número elevado de tubos fluorescentes, que ascienden a 3570 equipos, los cuales pueden ser intercambiados por otros de mejor desempeño energético, disminuyendo la potencia a la mitad; evitando intermitencias y manteniendo los soportes actuales. Para ello es necesario contar con recursos para la compra de nuevos equipos y su instalación. Se considera el precio de un nuevo equipo Tubo LED como aproximadamente \$3.500 pesos chilenos.

Además, dentro de estos proyectos se plantea el estudio de modificación de iluminación exterior peatonal de Beauchef 850. El circuito de alumbrado ahí presente, no cuenta con

una unificación en potencia debido a que se componen de varios equipos de iluminación. Estos en promedio rondan los 100 W de potencia de alumbrado y son utilizados todas las noches del año, alcanzando una energía anual equivalente a casi los 13.000 kWh. Esto toma especial relevancia al considerar que el número de equipos involucrados en este ítem son 37 (de los 119 equipos de exterior). Al conversar con la oficina de Administración, se mencionó que es posible encontrar equipos más eficientes que los instalados, disminuyendo con la energía utilizada a través de la modificación de un bajo número de aparatos.

## Implementación de nuevos sensores o ajuste de los ya existentes

El sistema de iluminación de los edificios Beauchef 851 Oriente y Poniente fue diseñado considerando la presencia de sensores de proximidad. Sin embargo, debido a la poca densidad de estos equipos, estos no han cumplido su rol, lo que derivó en que estos sensores fueran desactivados en algunas zonas. A partir de estos antecedentes se propone la instalación o densificación de sensores en zonas que cumplan los criterios: Es una zona de uso general, es decir, muchas personas circulan en estos lugares; el tiempo de uso es superior a las 8 horas diarias; el número y la disposición de los equipos permite su sectorización. Considerando estos criterios destacan los pasillos de centrales

de los pisos sobre suelo de B851 Oriente y Poniente, algunos laboratorios de mayor tamaño y la sala de estudio del primer piso de la Torre Poniente.

El número de sensores a instalar y sus ubicaciones varía en cada zona, por lo que se consideran 5 sensores de presencia y/o luminosidad nuevos en cada una de las zonas elegidas. Cada sensor tiene un costo aproximado de \$135.000 pesos chilenos. El último punto a considerar es que el ahorro energético real solo puede conocerse luego de su instalación, sin embargo, en la literatura se estiman valores entre el 15% y el 30%.

## Capacitación, sensibilización y coordinación

---

En el Diagnóstico de Línea Base Energético correspondiente a la acción 4.14 del Acuerdo de Producción Limpia, se mencionaron otras oportunidades de mejora de desempeño energético referentes a la capacitación del personal directa o indirectamente relacionado con la energía, la sensibilización de la comunidad y la conformación de unidades revisoras de proyectos y tecnologías referentes a mejoras locales del Campus.

Este tipo de oportunidades no se pueden cuantificar por el momento, sin embargo, son determinantes en el camino a poder estructurar las mejoras organizadas de estos indicadores en los diversos sectores del Campus.

## Priorización oportunidades de mejora

---

Respecto a la priorización de oportunidades de mejora de desempeño energético, se establece que un aspecto fundamental es poder acotar más las mediciones desde empalmes a edificios o zonas más estratégicas. Además, el poder entregar un registro más preciso, permitirá mejorar las medidas de gestión que se tomarán en el futuro. De esta manera, analizar la factibilidad técnica-económica de la instalación de remarcadores energéticos es prioritario, al menos en la primera etapa.

Por el potencial de reducción energético que existe en el complejo Beauchef 851 en relación a los equipos fluorescentes, se establece que también el comenzar a analizar la factibilidad del recambio de estos equipos es fundamental. Por lo anterior es que se le asignará una alta relevancia a un estudio capaz de determinar alguna solución tecnológica para implementar en todos los pisos superiores de este complejo de edificios.

En tercer lugar, se propone seguir fomentando la instalación de sensores de proximidad en otras locaciones de la FCFM (esto ya se venía haciendo en áreas como los baños y pasillos de edificios como Justicia Espada, Minas/Química o Eléctrica/AMTC). Densificar estos sensores en Beauchef 851 es fundamental para poder poner en funcionamiento regular el sistema de iluminación diseñado originalmente.

Finalmente, se impulsarán los temas referentes a la capacitación del personal relacionado con energía del Campus, la sensibilización de la comunidad; y la estructuración organizativa del personal relacionado con la administración de la energía en la FCFM.



