UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA LOS CAMPUS SANTIAGO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

VÍCTOR HUGO TRONCOSO ORTIZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SRA. MARÍA PILAR GÁRATE
PROFESOR CORREFERENTE : SR. FRANCISCO DALL'ORSO LEÓN

OCTUBRE 2017

ABSTRACT

La Universidad Técnica Federico Santa María es una de las principales casas de estudios en Chile. Es una entidad formadora de profesionales en distintas áreas del conocimiento, con enfoque principal en ciencia y tecnología. Su casa central está ubicada en la ciudad de Valparaíso, con campus en las ciudades de Santiago y Guayaquil (Ecuador), además de sedes en otras regiones de Chile.

La organización demostró hace más de 5 años su intención de alcanzar el reconocimiento de ''Campus Sustentable" haciéndose partícipe del Acuerdo de Producción Limpia (APL), el cual fue firmado por varias universidades chilenas con el objetivo de mantener vigente la Declaración de Talloires, firmada en Francia dos décadas atrás, bajo la premisa de que las instituciones de enseñanza superior deben llevar el liderazgo de la sustentabilidad al resto del mundo.

Dentro del APL, un punto fundamental es la Eficiencia Energética, y para gestionarla es primordial contar con un diagnóstico apropiado.
El propósito de este estudio fue realizar el diagnóstico energético de la universidad en los campus Santiago Vitacura y San Joaquín. Estos campus se analizan en conjunto, puesto que poseen características similares desde el punto de vista geográfico, climático y tipos de energía utilizadas, además de su cercanía física, lo cual facilita el análisis, para servir de base en futuras implementaciones y mejoras en el ámbito de la gestión energética.

Se definió la línea base de energía para cada campus, logrando identificar a la electricidad como el tipo de fuente de mayor consumo en ambos casos; coincidentemente en los dos campus el área de mayor gasto energético es la climatización. De acuerdo a sus consumos energéticos, se determinan las respectivas huellas de carbono, las cuales arrojaron que la electricidad también lidera en las emisiones de CO2 equivalente, lo cual es concordante con el resultado anterior en cuanto a su carácter como fuente principal de consumo en la matriz energética de la universidad. A partir del diagnóstico se presentan varias propuestas con mira hacia la eficiencia energética, planteándose dos aristas principales respecto al tipo de inversión. Por un lado destaca la inversión en capacitación de funcionarios y docentes de planta, siendo un proyecto viable de bajo costo, alto impacto y de implementación en corto

plazo. La otra arista se asocia a la posibilidad de inversión en ERNC, la cual corresponde a la implementación de sistemas solares.

Finalmente es importante señalar, que la universidad debe tener un encargado de energía, quien deberá liderar los planes a desarrollar a futuro, para la correcta implementación y control del trabajo que se realizará en la casa de estudio, indistintamente del tipo de política energética que plantee la institución.

En conclusión, este estudio define las bases para que la universidad decida qué acciones tomar. Hay espacio para implementación de mejoras en ámbito energético, pero está pendiente por parte de la universidad una política energética, considerando que al seguir las directrices trazadas en la información de esta investigación, la universidad podrá dar inicio al proyecto para cumplir con el Acuerdo de Producción Limpia y postular a la obtención de otros reconocimientos dados por el Gobierno de Chile.

Federico Santa María Technical University is one of the main colleges in Chile. It's an entity that trains professionals in different areas of knowledge, with a focus on science and technology. Its central faculty is located in the city of Valparaíso, with campuses in the cities of Santiago and Guayaquil (Ecuador), as well as offices in other regions of Chile.

The organization declared, more than 5 years ago, its intention to achieve the recognition of a "Sustainable Campus" by becoming part of the Clean Production Agreement (APL), which was signed by several Chilean universities with the objective of maintaining the Talloires Declaration, signed in France two decades ago, under the premise that colleges must take the leadership of sustainability to the rest of the world.

A fundamental point within the APL is Energy Efficiency, and to manage it is essential to have an appropriate diagnosis.

The purpose of this study was to perform the university's energy diagnosis in the Santiago Vitacura and San Joaquin campuses. These faculties are analyzed together, since they possess similar characteristics from the geographic, climatic point of view, and types of energy used, in addition to their physical proximity, which facilitates the analysis, to serve as a base in future implementations and improvements in the energy management field.

The baseline of energy was defined for each campus, thus being able to identify electricity as the type of source of greater consumption in both cases; coincidentally in the two campuses the area of greatest energy expenditure is air conditioning. According to their energy consumption, the respective carbon footprints are determined, which showed that electricity also leads in CO2 equivalent emissions, which is in line with the previous result in terms of its nature as the main source of consumption in the energy matrix of the university.

Based on the diagnosis, several proposals are presented with a view in energy efficiency, with two main points regarding the type of investment. On one hand, it emphasizes the investment in the training of officials and teachers, being a feasible low cost project, with high impact and short term implementation. The other edge is associated with the possibility of investment in ERNC, which corresponds to the implementation of solar systems.

Finally, it's important to note that the university must have an energy manager, who

must lead the plans to develop in the future, for the correct implementation and control of the work that will be carried out in the study house, regardless of the type of energy policy proposed by the institution.

In conclusion, this study defines the basis for the university to decide what actions to take. There is room for the implementation of improvements in the energy field, but an energy policy is still pending, taking account that by following the guidelines outlined in the information of this research, the university can start the project to comply with the Clean Production Agreement and postulate to obtain other acknowledgments given by the Government of Chile.

Índice de Contenidos

1. Introducción **1**
1.1. Descripción del Problema 2
1.2. Justificación 3
1.3. Objetivos 5
1.3.1. Objetivo General 5
1.3.2. Objetivos Específicos 5

2. Antecedentes **6**
2.1. Descripción General Universidad 6
2.2. Situación Actual 8
2.2.1. Contexto Nacional 8
2.2.2. Sustentabilidad Universitaria 9

3. Marco Teórico **13**
3.1. Concepto de Energía 13
3.1.1. Energías de Fuente Primaria 13
3.1.2. Energías de Fuente Secundaria 14
3.2. Energías renovables no convencionales (ERNC) 16
3.2.1. Energía Solar 18
3.2.2. Energía Eólica 20
3.2.3. Energía Biomasa 22
3.2.4. Energía Geotérmica 24
3.3. Concepto de Eficiencia Energética (EE) 27
3.4. Concepto Huella de Carbono 28
3.5. Sello de Eficiencia Energética 29
3.6. ISO 50.001: Sistemas de Gestión de la Energía 31
3.7. Auditoría energética 32

4. Metodología **34**
4.1. Información de entrada 34
4.1.1. Diagnóstico General 34
4.1.2. Obtención de Datos de Consumos Generales 34
4.1.3. Cálculo de Huella de Carbono 35
4.2. Revisión Energética 35
4.2.1. Análisis del Consumo y Gasto Energético 35

4.2.2. Identificación Áreas de Uso y Fuente de Consumo significativo . 35
4.2.3. Definición de Línea Base de Energía 35
4.3. Formulación de Propuestas en base al Diagnóstico Energético 36

5. Análisis y Resultados **37**
5.1. Recopilación de Información 37
5.2. Diagnóstico General 38
5.2.1. Territorial 38
5.2.2. Climático 39
5.2.3. Infraestructura 40
5.3. Diagnóstico Energético por Campus 41
5.3.1. Campus San Joaquín 41
5.3.1.1. Datos de consumo generales 41
5.3.1.2. Cálculo Huella de Carbono 44
5.3.1.3. Análisis por Fuente de Energía 45
5.3.1.4. Análisis por Área de Consumo 47
5.3.1.5. Definición de Línea Base de Energía 48
5.3.2. Campus Vitacura 49
5.3.2.1. Datos de Consumo Generales 49
5.3.2.2. Cálculo Huella de Carbono 52
5.3.2.3. Análisis por Fuente de Energía 53
5.3.2.4. Análisis por Área de Consumo 57
5.3.2.5. Definición de Línea Base de Energía 58
5.4. Requerimientos de Certificación 58
5.4.1. Requisitos Campus Sustentable 58
5.4.2. Requisitos mínimos para el Sello de EE 59

6. Propuestas **62**
6.1. Inversión Infraestructura 62
6.1.1. Baja Factibilidad 62
6.1.2. Alta Factibilidad 65
6.2. Capacitación del Activo Docente y Administrativo 68
6.2.1. Evaluación capacitación Campus San Joaquín 69
6.2.2. Evaluación capacitación Campus Vitacura 70
6.3. Beneficios por Meta Cumplida 71
6.4. Difusión en la Comunidad Estudiantil 72
6.5. Designación Encargado de Energía 72
6.6. Recomendaciones Generales 73

7. Interferencias y Desviaciones **74**
7.1. Durante el estudio 74
7.1.1. Dificultad recopilación de datos 74
7.1.2. Diferencias en los consumos 74
7.2. Dificultades Proyectadas 75
7.2.1. Falta de una política 75

7.2.2. Resistencia al cambio 75

8. Conclusiones **77**

Bibliografía **80**

Índice de Tablas

2.1. Ubicación campus y sedes de UTFSM. 7
2.2. Datos UTFSM respecto a carreras de Pregrado. 8
2.3. Datos UTFSM respecto a carreras de Postgrado. 8

3.1. Comparación entre Energético Fuente y sus derivados en Energéticos Secundarios. 16

5.1. Personal administrativo UTFSM que colaboró con información. 37
5.2. Información General territorial de los Campus Santiago. 40
5.3. Número de personas relacionadas según campus al 2016. 41
5.4. *Campus San Joaquín:* Resumen energía eléctrica consumida en años 2014 y 2015 42
5.5. *Campus San Joaquín:* Resumen energía consumida por volumen y costo. 42
5.6. *Campus San Joaquín:* Huella de Carbono asociada a consumos energéticos para el año 2016. 44
5.7. *Campus San Joaquín:* Distribución consumo eléctrico por tipos de equipos en kWh para el año 2016. 46
5.8. *Campus Vitacura:* Resumen energía consumida por volumen y costo durante el año 2016. 51
5.9. *Campus San Vitacura:* Huella de Carbono asociada a consumos energéticos para el año 2016. 53
5.10. *Campus Vitacura:* Distribución consumo eléctrico en kWh por tipos de equipos para el año 2016. 56

6.1. Datos estimados para evaluación de proyecto 69
6.2. Cálculo de ahorro Campus San Joaquín 69
6.3. Cálculo inversión capacitación Campus San Joaquín 69
6.4. Parámetros de evaluación de proyecto Campus San Joaquín 70
6.5. Cálculo de ahorro Campus Vitacura 70
6.6. Cálculo inversión capacitación Campus Vitacura 70
6.7. Parámetros de evaluación de proyecto Campus Vitacura 71

Índice de Figuras

3.1. Distribución de energías de fuente primaria utilizadas en Chile durante el año 2012. 14
3.2. Distribución de energías de fuente secundaria utilizadas en Chile durante el año 2012. 15
3.3. Ejemplo de planta solar fotovoltaica. 19
3.4. Comparación tipos de aerogeneradores. 21
3.5. Generación de biomasa. 24
3.6. Esquema típico de una instalación geotérmica. 25
3.7. Comparación de emisiones de CO2 en lbs/MWh. 26

5.1. Mapa aéreo Campus San Joaquín UTFSM. 38
5.2. Mapa aéreo Campus Vitacura UTFSM. 39
5.3. Climograma Región Metropolitana. 40
5.4. *Campus San Joaquín:* Distribución porcentual del consumo energético en kWh según tipo de energía durante el 2016. 43
5.5. *Campus San Joaquín:* Distribución porcentual del gasto energético en CLP según tipo de energía durante el 2016. 43
5.6. *Campus San Joaquín:* Consumos de electricidad en kWh correspondiente al período 2014 - 2016. 45
5.7. *Campus San Joaquín:* Distribución consumo eléctrico en kWh para el año 2016. 47
5.8. *Campus San Joaquín:* Distribución consumo total energético en kWh para el año 2016. 48

5.9. *Campus Vitacura:* Medición consumo eléctrico durante avería. 50
5.10. *Campus Vitacura:* Distribución porcentual del consumo energético en kWh según tipo de energía durante el año 2016. 51
5.11. *Campus Vitacura:* Distribución porcentual del gasto energético en CLP según tipo de energía durante el año 2016. 52
5.12. *Campus Vitacura:* Consumos de electricidad estimada en kWh durante el año 2016. 53
5.13. *Campus Vitacura:* Consumos de GNL en kWh durante el año 2016. . . . 54
5.14. *Campus Vitacura:* Gasto en GNL en CLP durante el año 2016. 55
5.15. *Campus Vitacura:* Distribución consumo eléctrico en kWh para el año 2016. 56
5.16. *Campus Vitacura:* Distribución consumo total energético en kWh para el año 2016. 57

6.1. Mapa eólico ubicación Campus San Joaquín. 63
6.2. Información sobre el recurso eólico en Campus San Joaquín. 63
6.3. Mapa eólico ubicación Campus Vitacura. 64
6.4. Información sobre el recurso eólico en Campus Vitacura. 64
6.5. Mapa radiación solar ubicación Campus San Joaquín. 66
6.6. Información sobre el recurso solar en Campus San Joaquín. 66
6.7. Mapa radiación solar ubicación Campus Vitacura. 67
6.8. Información sobre el recurso solar en Campus Vitacura. 67

1 | Introducción

El concepto de sustentabilidad fue implementado por vez primera en la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU en el año 1987. Este concepto se refiere a una eficiente administración de recursos, de manera que se mejore el bienestar de una población en la actualidad, pero paralelamente preocupándose de que las decisiones tomadas, no comprometan la calidad de vida de las generaciones futuras.

Hoy en día el cuidado medio ambiental es parte integral del desarrollo económico y social, por lo que las empresas, impulsadas por una colaboración dinámica entre los gobiernos y las comunidades científicas, han ido incorporando el concepto de sustentabilidad tanto en su infraestructura como en la formación de empleados, ya que una convicción netamente industrial, donde la producción y explotación de recursos son las directrices, es insostenible en el largo plazo, considerando que vivimos en un planeta con limitaciones evidentes y que día a día se ve más afectado por la actividad humana.

El desarrollo sostenible puede dividirse en tres partes: Ambiental, Social y Económica. La sustentabilidad ambiental busca que el desarrollo de una actividad generada por el hombre no termine destruyendo, degradando o agotando el ecosistema donde se desenvuelve, cosa de poder considerar su utilización futura. Esto implica controlar los niveles de contaminación, manejo de residuos y el uso inteligente de recursos. La sustentabilidad social destaca la importancia de fomentar las relaciones entre individuos y la cohesión entre estos, sin dejar de lado que el entorno incorpore elementos integradores para las personas. Finalmente la sustentabilidad económica se entiende como el crecimiento económico de una comunidad, pero manteniendo interrelacionados los dos puntos anteriores.

Las organizaciones a través de la implementación de planes de Eficiencia Energética (EE) pueden lograr en parte la sustentabilidad, pues la EE tiene impactos beneficiosos en

los tres pilares antes nombrados: Genera ahorros económicos por la reducción de consumos energéticos innecesarios, aumenta el beneficio de los participantes y reduce el consumo de energías de origen no renovable como petróleo y gas, los cuales son de los principales causantes de contaminación.

En Chile, el Ministerio de Energía premia con un Sello de Eficiencia Energética a las empresas que han demostrado liderazgo y desarrollo con el objetivo de mejorar el desempeño de sus procesos y que cumplan con ciertos requisitos asociados al buen uso de la energía, al cual se postula anualmente (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2014). Las organizaciones pueden apoyarse en documentos como la ISO 50.001 para su cumplimiento y de esta forma terminar optando a una Certificación de eficiencia energética (Organización Internacional para la Normalización (ISO), 2011).

1.1. Descripción del Problema

Consciente de la sustentabilidad, la UTFSM quiere implementar en el mediano plazo un plan que apunte a mejorar el Desempeño Energético, para lo cual se hace indispensable un diagnóstico detallado de la situación actual de la universidad.

Es por esto que se propone realizar un diagnóstico energético con el objetivo de determinar cuantitativamente el grado de eficiencia con la que se está utilizando la energía. Los resultados obtenidos se utilizarán para categorizar las áreas según el nivel de eficiencia energética, consumo y pérdidas, lo que será útil a la hora desarrollar una planificación para implementar mejoras al sistema y alcanzar un reconocimiento nacional de eficiencia energética.

Actualmente ninguno de los campus y sedes que compone la universidad posee la información desglosada de sus gastos y consumos energéticos, por lo que resulta complejo diagnosticar y más aún modernizar un plan estratégico de energía a uno de Eficiencia Energética.

En línea con la meta que quiere alcanzar la universidad, lo cual es lograr convertirse en una entidad sustentable, es que durante el año 2016, la casa central de la UTFSM, ubicada en Valparaíso, declaró que iniciaría un estudio conducente al diagnóstico energético de

dicho campus.

Dentro de este marco se encuadra el presente estudio, el cual tiene por objeto sumarse al alineamiento estratégico definido por casa central y su alcance será ejecutar el diagnóstico energético en ambos campus Santiago, Vitacura y San Joaquín, siendo este el primer paso para la toma de decisiones respecto a metas internas y la definición de una política de eficiencia energética de esta alma mater.

Siguiendo con la premisa de ser líderes en ciencia y tecnología, este diagnóstico buscará aportar al desarrollo de la sustentabilidad medio ambiental de la universidad y toda su comunidad.

1.2. Justificación

Sabido es que, en los últimos años la postura de Chile respecto del uso de energía ha tomado tal relevancia, que en el año 2010 el gobierno tomó la decisión de crear un organismo autónomo que por años había sido parte del Ministerio de Minería. Nace así el 1 de febrero de 2010 el Ministerio de Energía.

El Ministerio de Energía se definió como la institución de Gobierno responsable de elaborar y coordinar, de manera transparente y participativa, los distintos planes, políticas y normas para el desarrollo del sector energético del país, y así asegurar que todos los chilenos y chilenas puedan acceder a la energía de forma segura y a precios razonables.

En línea con los compromisos adoptados el 30 de diciembre de 2015, la Presidenta de la República, Michelle Bachelet, firmó el Decreto Supremo que aprobó la nueva estrategia a largo plazo para el sector energético en nuestro país. Entre las principales metas a conseguir al año 2050, se busca que todas las familias vulnerables tengan acceso continuo y de calidad a los servicios energéticos. Además, que el 70 % de la generación eléctrica nacional provenga de energías renovables y que el 100 % de las edificaciones nuevas tengan altos estándares de construcción eficiente y cuenten con sistemas de control de energía, entre otras.

Interpelando al Acuerdo de Producción Limpia firmado por la universidad en el año 2012 y los valores institucionales de ésta donde se declara que “Queremos una Universidad

siempre mirando al futuro y apelando a la excelencia en cada una de las actividades referidas a su quehacer, estableciendo un compromiso de desarrollar docencia, investigación y extensión con altos niveles de calidad. Contribuyendo con la sociedad a través de un trabajo de excelencia en la formación de profesionales y creación de nuevo conocimiento; abordando los problemas del desarrollo sustentable, y asumiendo protagonismo en el terreno social, cultural y económico."

La motivación para realizar este estudio se basa en buscar argumentos que permitan creer que la sustentabilidad de esta institución universitaria, se pueden alinear con las metas y compromisos hechos como país, hacia a un futuro donde exista conciencia global y el actuar de las personas vaya de la mano con el eficiente uso de la energía.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar el diagnóstico energético de los campus Santiago Vitacura y Santiago San Joaquín de la Universidad Técnica Federico Santa María, como base para futuras implementaciones y mejoras en el ámbito de la Gestión Energética.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y generar datos de consumo energético, costos y producción asociada a los campus en Santiago de la UTFSM para conocer el desempeño energético actual.
- Definir en relación a los datos obtenidos, la línea base de energía de los campus Santiago y calcular la huella de carbono emitida por los campus asociada a los consumos energéticos.
- Analizar datos obtenidos para identificar áreas o sistemas de mayor consumo dentro de los campus.
- Analizar requisitos para optar a algún tipo de certificación relativo a eficiencia energética.
- Proponer recomendaciones y posibles mejoras conducentes a la realización de proyectos ejecutables en los campus, enfocados a gestionar el consumo energético.

2 | Antecedentes

2.1. Descripción General Universidad

La Universidad Técnica Federico Santa María nace producto del sueño altruista de Don Federico Santa María, el cual mediante su voluntad testamentaria declaró su deseo por contribuir con el progreso cultural del país, facilitando accesibilidad a la educación para aquellas personas que cumplían con aptitudes y poseían un alto rendimiento académico.

De esta manera se funda en el año 1926 la institución que lleva su nombre en la ciudad de Valparaíso, impartiendo una formación integral a sus alumnos de la mano de un cuerpo docente de excelencia traído desde Europa. La inicialmente llamada Fundación Santa María, pasa a llamarse Universidad Técnica Federico Santa María a mediados de la década de los 30, consolidando así su enfoque hacia la educación superior.

En la década de los 60 comienza el primer proceso de expansión, tanto a nivel local como internacional. De esta forma, en 1966 se da comienzo a construcción a la que actualmente se conoce como Sede Viña del Mar José Miguel Carrera. Durante el mismo año también se inicia el proyecto de construcción de la Escuela de Técnicos Universitarios, actualmente conocida como Sede Concepción Balduino de Bélgica.

En los 90 se da inicio al segundo periodo de expansión, comenzando con la construcción en 1995 de un campus ubicado en la comuna de Las Condes, con carreras en las áreas de administración e informática. De forma paralela se inaugura una sede en la ciudad de Rancagua. Además en el siguiente año se abre el Campus Guayaquil, ubicado en Ecuador, convirtiéndose así en la primera institución universitaria en Chile que experimentaba el proceso de internacionalización.

En el año 2000 el campus ubicado en la comuna de Las Condes se traslada a su ubicación actual, en la comuna de Vitacura, decisión tomada estratégicamente debido a la cercanía con el aeródromo Tobalaba y su cartera de carreras enfocadas a la aviación.

El año 2009 acontecieron dos hechos importantes para la institución, por un lado el traslado de la sede Rancagua a una nueva ubicación dentro de la misma ciudad, con el objetivo de poder contar con instalaciones más amplias y modernas. Por otra parte se inaugura el campus San Joaquín, el cual se enfoca en las áreas más tradicionales de ingeniería como Obras Civiles, Electricidad, Mecánica, Minas, Química e Informática.

En los años posteriores la universidad realizó importantes ampliaciones en distintos campus, a manera de validar su enfoque de una casa de estudios preocupada del desarrollo de diferentes zonas del país y el exterior, entendiendo que una formación de excelencia requiere instalaciones con mayor comodidad y seguridad para el buen desempeño de la comunidad (UTFSM, 2017).

La tabla 2.1 muestra la lista de campus y sedes que conforman la universidad actualmente:

Tabla 2.1: Ubicación campus y sedes de UTFSM.

Nombre Instalación	**Ciudad**	**Dirección**
Casa Central	Valparaíso	Av. España 1680
Sede Viña del Mar	Viña del Mar	Av. Federico Santa María 6090
Sede Concepción	Hualén	Calle Arteaga Alemparte 943
Campus Vitacura	Santiago	Av. Vicuña Mackenna 3939
Campus San Joaquín	Santiago	Av. Santa María 6400
Sede Rancagua	Rancagua	Calle Gamero 540
Campus Guayaquil	Guayaquil - Ecuador	Av. Carlos Julio Arosemena Km. 4 1/2

(Fuente: Informe de Autoevaluación Institucional UTFSM 2016)

En las tablas 2.2 y 2.3 se muestran indicadores académicos de la universidad referidos a los tipos de carreras y número de personas que las componen.

Tabla 2.2: Datos UTFSM respecto a carreras de Pregrado.

Área de conocimiento	N° Carreras	Matrículas (2015)
Administración y Comercio	1	841
Arte y Arquitectura	2	452
Ciencias	6	493
Recursos Naturales	1	64
Tecnología	62	16,415

(Fuente: Informe de Autoevaluación Institucional UTFSM 2016)

Tabla 2.3: Datos UTFSM respecto a carreras de Postgrado.

Área de conocimiento	N° Carreras	Matrículas (2015)
Administración y Comercio	2	456
Ciencias	6	98
Tecnología	18	659

(Fuente: Informe de Autoevaluación Institucional UTFSM 2016)

2.2. Situación Actual

2.2.1. Contexto Nacional

La composición de la matriz energética de Chile a grandes rasgos se divide en: fuentes térmicas como petróleo, gas y carbón con un 57 % del total, fuentes hidráulicas de embalse y pasada con un 29 % y el 14 % restante se reparte en Energías Renovables No Convencionales (ERNC), principalmente entre eólica y solar. Lo anteriormente planteado se vuelve un problema, ya que desde un punto de vista económico, Chile no es un país que produzca combustibles fósiles, lo que significa que estos combustibles deben ser importados, lo que resulta en una dependencia del resto de paises. Por otra parte, desde el punto de vista ambiental, aún cuando las tecnologías de combustión han evolucionado, esta sigue siendo la causa principal de emisiones de CO2 al ambiente (Energía Abierta, 2017).

Sin embargo el panorama se ve favorable, ya que Chile posee un gran potencial en materia de energías renovables. El país posee la radiación solar más alta del mundo, fuertes vientos de norte a sur para el desarrollo de energía eólica, un gran potencial de energía marina debido a su geografía, gran capacidad para desarrollar biogás y la posibilidad de explotar el recurso geotérmico a lo largo de toda la cordillera.

Actualmente Chile se encuentra en el tercer puesto latinoamericano de los paises con mayor inversión en ERNC, lo cual apunta al objetivo de construir una matriz de menor impacto medioambiental y mas diversificada, ya que es preferible distribuir la generación de energía en distintas plantas que en unas pocas.

El Gobierno de Chile a manifestado su interés en materia energética en los últimos años, primera evidencia de esto es la creación del Ministerio de Energía en el año 2010, el cual ha planteado la nueva estrategia energética "Energía 2050", en donde se plantean los objetivos, lineamientos estratégicos y planes de acción durante los próximos 33 años. Dentro de los principales focos que se plantean está el uso eficiente de energía y el desarrollo de cultura energética (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2009).

Sin embargo se debe tener en cuenta que actualmente Chile se encuentra al debe en materia de cultura energética, siendo este unos de los principales puntos que los estudios revelan como una barrera a la hora de querer posicionarse como un lider en eficiencia energética. Es por esto que los esfuerzos deberán ser enfocados en que los usuarios finales sean más responsables.

2.2.2. Sustentabilidad Universitaria

Este concepto fue implementado por primera vez en la llamada Declaración de Talloires en octubre de 1990, realizada en un pequeño pueblo de Francia con el mismo nombre. En esta declaración participaron 22 universidades las que firmaron un documento afirmando que las instituciones de enseñanza superior deben tomar liderazgo mundial en el desarrollo, creación, apoyo y mantenimiento de la sostenibilidad. Durante el año 2010, veinte años despúes de esta declaración, las universidades de Chile han tomado este desafío mediante el Acuerdo de Producción Limpia Campus Sustentable (APL), el cual entrega las bases para que cada una de las instituciones que decidió hacerse parte comience su

camino hacia la sustentabilidad. Este Acuerdo tiene como objetivo general "Implementar en las Instituciones de Educación Superior la estrategia de produción limpia, mediante la incorporación de materias de sustentabilidad, para de esta manera aumentar el desarrollo de ciencias, metodologías, capacidades, incorporando una visión sistemática y sustentable de su actividad educativa". De esta forma se convierte en un gran primer paso, en el que las universidades se comprometieron a formar profesionales consientes de su entorno y de la eficiencia energética (Consejo Nacional de Producción Limpia, 2012). Las universidades en Chile que decidieron unirse al APL, siguiendo el ejemplo de las más de 380 instituciones que actualmente siguen la Declaración de Talloires fueron:

- Universidad Católica de Valparaíso.
- Universidad de Antofagasta.
- Universidad de Viña del Mar.
- Universidad de Playa Ancha.
- Universidad Católica del Norte.
- Universidad Andrés Bello.
- Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología.
- Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.
- Universidad Santo Tomás.
- Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Universidad de Santiago de Chile.
- Universidad de Chile.
- Universidad Técnica Federico Santa María.
- Universidad de Talca.

- Universidad de Los Andes.
- Universidad Católica de Chile.
- Universidad de La Frontera.
- Universidad Católica de Temuco.
- Universidad de Los Lagos.
- Universidad de Magallanes.

A principios del año 2017, catorce instituciones de Educación Superior, que representan el 20 % del total de matrículas a nivel nacional, fueron certificadas por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, en una ceremonia encabezada por el Ministro de Medio Ambiente.

Durante la búsqueda de este reconocimiento las instituciones alcanzaron importantes logros en materia de gestión de recursos, estimándose ahorros en energía por $300 millones de pesos (CLP). Además, las instituciones reciclaron 230 toneladas de residuos sólidos, lo cual implicó una inversión de más de $600 millones de pesos (CLP) en eficiencia energética e hídrica, disminuyendo así un total de 7.438 toneladas de emisiones de CO2 equivalente. De esta forma también se aumentaron las asignaturas electivas relacionadas con el eficiente uso de recursos en un 33 %, lo que se traduce en 508 cursos y 21.707 alumnos inscritos. El número de proyectos de investigación también se elevó en un 93 %, con 160 proyectos (Revista Certificación & Negocios, 2017).

Las instituciones certificadas en Producción Limpia fueron:

- Universidad de Chile.
- Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Escuela Naval Arturo Prat.
- Universidad Austral de Chile.

- Universidad de Playa Ancha.
- Universidad de Los Lagos.
- Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Universidad de Santiago de Chile.
- Universidad Católica del Norte.
- Universidad de Antofagasta.
- Universidad de Talca.
- Universidad del Bio Bío.
- Universidad de Magallanes.

3 | Marco Teórico

3.1. Concepto de Energía

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo (Oxford, 2011). Dentro del contexto de economía y tecnología hace referencia a un recurso natural que debe ser extraído y transformado para poder darle un uso industrial o económico.

Para una mejor comprensión de los tipos de energía, se hace una primera diferenciación de acuerdo a la fuente de la cual proviene.

La energía principalmente se clasifica en dos tipos:

- Energías de Fuente Primaria.
- Energías de Fuente Secundaria.

3.1.1. Energías de Fuente Primaria

Este tipo de energía es la que proviene de recursos naturales, también son conocidas como energéticos primarios. Pueden ser recursos obtenidos de una manera directa, dentro de esta descripción entran algunas como la energía hidráulica, energía eólica, energía solar, la utilización de biomasa o leña para la combustión. También pueden ser recursos naturales provenientes de manera indirecta, como producto de un trabajo de minería extrayendo petróleo crudo, gas natural o carbón mineral, utilizándolas con un fin energético, pero sin ser sometidas a un proceso de transformación (Ministerio de Energía, 2016). Como síntesis se puede decir que las energías de fuente primaria son aquellas que provienen de un proceso de extracción, captación o producción de portadores energéticos naturales,

siempre y cuando su utilización no conlleve transformaciones energéticas. Al 2012 en Chile el desglose a nivel macro de la utilización de energías de fuentes primarias es el que se muestra en la figura 3.1.

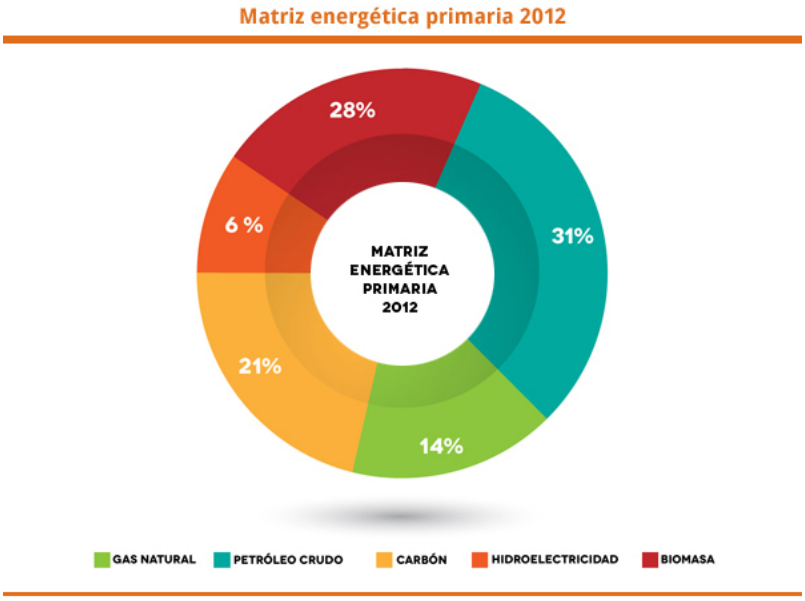


Figura 3.1: Distribución de energías de fuente primaria utilizadas en Chile durante el año 2012. (Fuente: Aprende con Energía 2012)

3.1.2. Energías de Fuente Secundaria

Este tipo de energía es producto de una transformación o elaboración a partir de recursos energéticos naturales, de fuentes primaria, o en casos particulares a partir de recursos desarrollados de manera artificial, por ejemplo el alquitrán, que son sometidos a procesos de trasformación física, química o bioquímica, por lo que también son conocidos como energéticos secundarios.

La electricidad, carbón mineral, gas manufacturado y la amplia gama de combustibles diésel corresponden a fuentes energéticas secundarias, las cuales pueden ser fácilmente identificadas ya que poseen como origen único un centro de transformación, y como destino un centro de consumo. Durante el 2012, la distribución en Chile de la utilización de energías secundarias es la que se presenta en la figura 3.2.

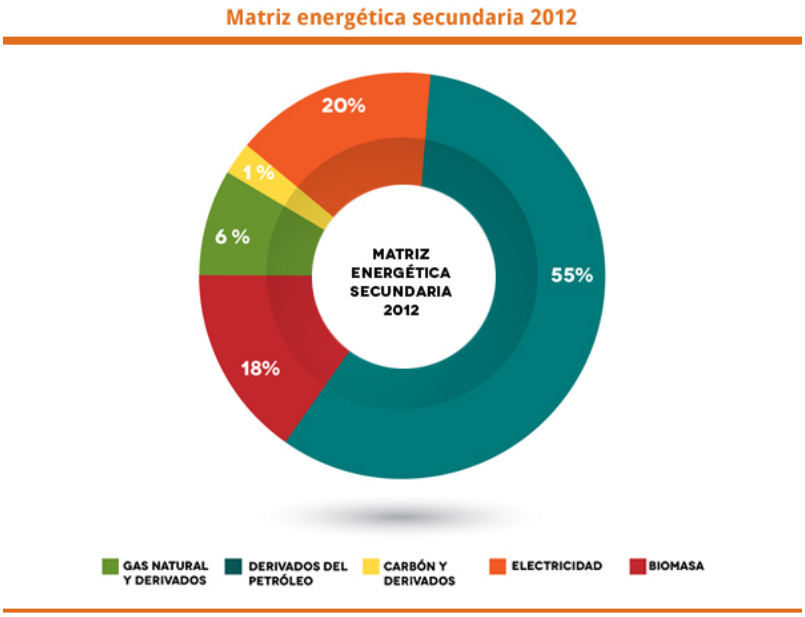


Figura 3.2: Distribución de energías de fuente secundaria utilizadas en Chile durante el año 2012. (Fuente: Aprende con Energía 2012)

La tabla 3.1 describe un cuadro comparativo entre un energético primario y su derivación en energía secundaria:

Tabla 3.1: Comparación entre Energético Fuente y sus derivados en Energéticos Secundarios.

Energético Fuente	**Energético Secundario**
Petróleo Crudo	Petróleos Combustibles, Alquitrán, Disel, Gasolina 93, 95 y 97, Gasolina Aviación, Kerosene, Nafta, Gas Licuado (GLP), Gas de Refinería, Coque de Petróleo (Petcoke)
Carbón Mineral	Coque Mineral, Gas Coque, Gas de Altos Hornos, Alquitrán
Gas Natural	Metanól, Gas Licuado (GNL)
Petróleo, Combustible, Diesel, Gas Natural, Carbón, Biomasa, Hídrico, Biogas, Eólica, Solar	Electricidad
Gas Licuado, Gas Natural	Gas de Ciudad
Biomasa	Biogás

(Fuente: www.civ.cl)

3.2. Energías renovables no convencionales (ERNC)

Las Energías renovables se caracterizan principalmente porque los procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil no agotan o desgastan la fuente de origen, al menos en una escala temporal humana. Se consideran fuentes de energías renovables a la hidráulica, solar, eólica y la proveniente de los océanos. Además, dependiendo de su metodología de explotación, también podría considerarse fuente de energía renovable a la biomasa, energía geotérmica y a los biocombustibles (Ministerio de Energía, 2016).

Las Energías renovables pueden clasificarse en dos grupos, las convencionales y no convencionales, esto dependerá del tipo de desarrollo tecnológico aplicado en su aprovechamiento y el grado de participación en la estructura energética del mercado. En Chile están consideradas como ERNC la Eólica, Biomasa, Biogás, Solar, Mareomotriz y la generación

Hidroeléctrica hasta los 20 MW, sobre esta potencia ya se considera Energía Renovable Convencional, siendo la Hidroeléctrica la más importante.

Una correcta implementación, provoca que las ERNC generen impactos ambientales mucho menores en comparación con fuentes convencionales, debido a que las emisiones de gases de efecto invernadero son muy bajas, y aprovechan recursos totalmente renovables como el viento y el sol (Energías et al., 2016).

Entre las principales ventajas de las ERNC se tiene:

- Son abundantes e inagotables en Chile.
- Disminuyen la importación de combustibles fósiles, lo que permite generar independencia en el suministro energético.
- Permiten diversificar la matriz energética, lo que genera seguridad.
- Reducen la exposición de Chile a lo fluctuante del mercado energético internacional.
- Generan competencia, lo que hace bajar el precio de la energía.
- Su amplio rango de aplicación permite su uso tanto doméstico como industrial.
- Entregan energía a zonas aisladas en donde no llega la red eléctrica.
- Activan la economía y empleo en todas las fases de su desarrollo.

En el caso particular de Chile, las iniciativas por desarrollo tecnológico de ERNC está mayoritariamente enfocado a la energía solar y eólica, esto se ve reflejado en que de los 56 proyectos de este tipo que comenzaron a principios de 2016, el 78 % corresponden a centrales solares fotovoltaicas, seguidas por las centrales eólicas con un 14 % de participación (Revista Enegética de Chile Electricidad, 2016). Esta tendencia se da debido a la viabilidad económica actual que tienen estos tipos de proyectos, ya que aún no se ha implementado la tecnología necesaria para hacer un uso masificado correcto de las otras ERNC.

3.2.1. Energía Solar

Las energías renovables, en estricto rigor, tienen su origen en la energía solar, ya que la energía eólica, geotérmica, mareomotriz y la producida por biomasa, son aprovechamientos indirectos de la energía entregada por el sol. Sin embargo, la radiación directamente también puede aprovecharse como una fuente de energía calórica, la cual se considera como energía solar pasiva, debido a que se hace uso de la luz y calor del sol de manea natural, sin utilización de medios mecánicos que interfieran. El concepto de energía solar pasiva ha tomado más fuerza en los últimos años, llegando a ser considerada una opción viable al momento de diseñar edificaciones, lo cual es conocido como Arquitectura Bioclimática (Jara, 2006).

En nuestro país la energía solar es mayormente aprovechada en la zona Norte, en donde las condiciones climáticas permiten un mejor aprovechamiento debido a los altos niveles de radiación existentes, lo que permite una viabilidad económica tanto para empresas que venden energía como para organizaciones que buscan incorporarla a su matriz energética.

Existen dos formas de producción de energía solar: térmica y fotovoltaica.

La energía solar térmica funciona utilizando la radiación para elevar la temperatura de un fluido, de esta forma la generación de vapor se utiliza para mover turbinas y así producir energía eléctrica. También se han desarrollado sistemas híbridos en el que la generación de vapor a altas temperaturas, apoya a las turbinas de un sistema tradicional en base a combustible, lo cual se conoce como sistemas de ciclo combinado (Jara, 2006).

Po otro lado la energía fotovoltaica funciona utilizando de forma directa la radiación para la generación de electricidad, mediante los llamados sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas están conformados básicamente por: células solares que transforman la radiación en electricidad, un acumulador que almacena la energía producida, un regulador que impide que el sistema se sobrecargue luego de que ha alcanzado su nivel máximo y finalmente un adaptador de corriente que permite entregar la energía en las condiciones que es demandada.

Debido a las características del sistema fotovoltaico, una de las ventajas más importantes que lo distinguen de otros tipos de energía, es que no necesitan estar conectados a una red de distribución, ya que pueden generar energía en el mismo lugar en donde se utiliza, por

lo que también evita pérdidas de rendimiento. Esta característica la convierte en una muy buena opción para lugar de difícil acceso a la red eléctrica, como repetidores de radio y TV, sistemas de bombeo, iluminación y sobre todo en zonas aisladas. La figura 3.3 muestra un ejemplo de instalaciones típicas de una planta de generación fotovoltaica.

Figura 3.3: Ejemplo de planta solar fotovoltaica.
(Fuente: www.energialimpiaparatodos.com 2017)

Sin embargo, unos de los problemas que se presentan es la oscilación de la radiación solar durante el día, por lo que la potencia no es estable, provocando que otros tipos de energía se conviertan en mejores opciones para tipos de demanda más exigentes. Lo anterior se presenta como una desventaja al momento de considerar la energía fotovoltaica como proveedor único de energía en estructuras grandes, pero el avance de tecnología en baterías de almacenamiento la convierten en una fuente sustentable y segura como apoyo de un sistema energético más grande.

Respecto a los aspectos ambientales la energía solar reduce completamente los impactos por producción de gases invernaderos, producidos por los procesos de combustión y sus consecuencias. Por otra parte, el efecto negativo es mayoritariamente el visual, por lo que se debe tener en cuenta el espacio de instalación al momento de considerar su implementación.

En síntesis de puede decir que:

- Durante la fase operación los impactos asociados a combustibles fósiles, como su extracción, transformación y combustión, se evita completamente.

- El impacto ambiental se debe a la utilización de espacio para la instalación de los paneles y periodo de construcción, sin embargo este daño puede mitigarse en gran medida con la correcta planificación.

- Durante la fase de construcción de los componentes fotovoltaicos se utilizan sustancias potencialmente tóxicas y peligrosas por lo que se debe tener cuidado con su almacenamiento para evitar contaminación con el suelo y napas subterráneas (Jara, 2006).

En Chile el potencial más grande se da en la zona Norte, en donde la radiación solar tiene de las mejores características a nivel mundial debido a sus 330 días de cielo despejado promedio y un potencial de 2.000 kW por metro cuadrado al año.

Al año 2017 se alcanzó una capacidad total instalada de 1.523 MW de energía fotovoltaica, correspondiente al 6,68 % de la matriz energética nacional (Energía Abierta, 2017).

3.2.2. Energía Eólica

Este tipo de energía se ha vuelto más popular dentro de la generación eléctrica desde la década de los 70, como respuesta a la crisis del petróleo y la promulgación a nivel mundial del gran impacto provocado por la utilización de combustibles fósiles, por lo que se podría decir que su uso para producir electricidad es relativamente nuevo. Estados Unidos fue el primero de los impulsores, centrándose en el estado de California, en donde la existencia de vientos regulares generaba el ambiente adecuado para su explotación. La Unión Europea le siguió, llegando a convertirse en el primer productor de energía eléctrica con fuente eólica.

Par el año 2005 a nivel mundial se registraron 59.206 MW de potencia eólica instalada y se estima que para el año 2020 ésta alcanzará el 1.000.000 MW instalados, lo que refleja la tendencia de las potencias en la instalación de este tipo de energía.

Existen distintos tipos de diseño para el aprovechamiento de los vientos, como molinos simples, aerogeneradores con ejes verticales u horizontales e incluso instalaciones offshore (mar adentro), todo esto dependiendo de las condiciones y necesidades que se requieran. Sin embargo, actualmente los diseños más utilizados son los aerogeneradores de eje horizontal

de 3 palas (Jara, 2006). Dentro de este tipo de generadores también existe una variedad amplia de tamaños para su instalación como se muestra en la figura 3.4, la desición también dependerá mucho de las condiciones geográficas para su correcto funcionamiento.

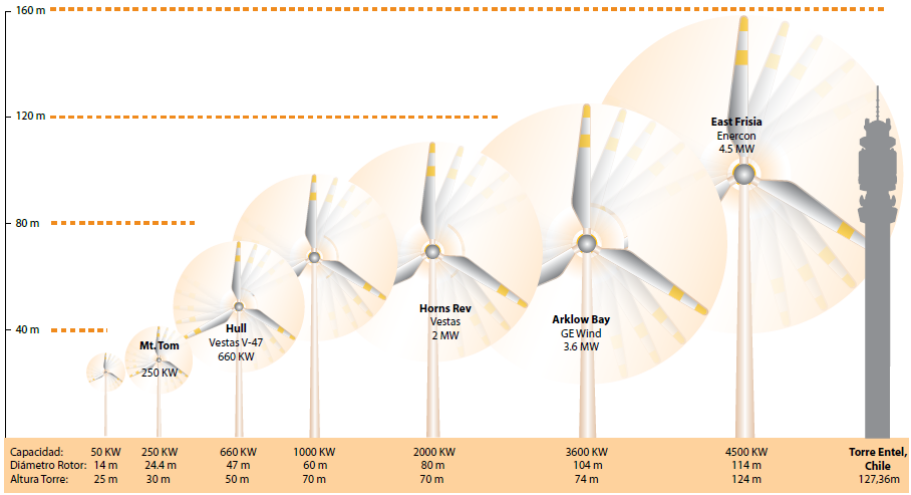


Figura 3.4: Comparación tipos de aerogeneradores.

(Fuente: Introducción a las Energías Renovables No Convencionales 2006)

Se debe tener presente que para concretar una instalación eólica se debe realizar un estudio meticuloso de las condiciones del lugar, tanto para tomar una decisión acertada respecto al tipo de aerogenerador en la fase de evaluación, como para conocer su comportamiento en la fase de operación por las distintas velocidades del viento que podrían surgir.

A pesar de lo limpia que resulta su generación, la energía eólica presenta varias consideraciones respecto al cuidado ambiental:

- Incidencia sobre la población de aves migratorias, por lo que se debe conocer el comportamiento ellas.
- Generación de contaminación acústica para las comunidades.
- Impacto visual, lo cual podría generar rechazo por algunas comunidades.

La generación de proyectos de ERNC surge de la necesidad de una mayor oferta energética y del cuidado medioambiental, pero no debe considerarse como una solución única. El economista alemán Joachim Weimann advierte que si bien las energías renovables

no convencionales son el camino para evitar catástrofes ambientales futuras, los recursos y acciones políticas se deben enfocar en primera instancia en medidas de eficiencia energética que disminuyan la contaminación por residuos y huellas de carbono. El autor plantea que los esfuerzos y recursos económicos deben invertirse en estas medidas para luego proceder con la implementación de ERNC como una parte de la misma Eficiencia Energética (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2016).

En Chile se identifican varias zonas con potencial eólico que poseen las características para la explotación con fines de generación eléctrica, entre algunas se encuentra la II Región de Calama, sectores costeros y cerros ubicados en la IV Región, cabos ubicados en la zona Norte y Central del país y sectores de la XI y XII región entre otras.

Actualmente existe una capacidad total instalada de 1341 MW de energía eólica, correspondiente al 5,88 % de la matriz energética nacional (Energía Abierta, 2017).

3.2.3. Energía Biomasa

Se define Biomasa como "Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización", excluyendo por lo tanto al petróleo, carbón y gas.

La energía que contiene la biomasa corresponde a energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso en el cual organismos vivos convierten compuestos inorgánicos en orgánicos. El método de aplicación más común corresponde a la combustión directa de la biomasa, pero también se han desarrollado tecnologías, como la gasificación y fermentación alcohólica entre otras, que permiten su trasformación en otros tipos de combustibles (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

La biomasa puede ser utilizada de distintas formas con el objetivo de generar energía:

- Combustible directo para su incineración en establecimientos industriales.
- Combustible doméstico para calefacción, cocina y calentar agua.
- Combustible en medios de transporte, llamándose en este caso Biocombustible como etanol y metanol.

- Generación de Biogás, mediante la fermentación de residuos, permitiendo almacenar y transportar los contenedores con el combustible.

Se considera que la biomasa presenta un balance neutro de emisiones de CO_2, debido a que el carbono liberado por la combustión forma parte de la atmósfera actual y no del subsuelo como el petróleo.

El costo de la energía por biomasa es difícil de estimar, debido a la heterogeneidad de los residuos y que depende de los procesos que se hayan establecido para su recolección, almacenamiento y principalmente del transporte, ya que resultaría contraproducente tener que transportar la biomasa largas distancias incurriendo en altos costos de energía por transporte y aumentando las emisiones de CO_2 por los vehículos involucrados. Para empresas que generan sus propios residuos orgánicos es una opción bastante viable, sin embargo para otros tipos de industria resulta difícil que se arriesguen debido a la inseguridad del suministro.

Actualmente la tecnología enfocada en potenciar la biomasa trata de solucionar inconvenientes como: su menor rendimiento comparado con los combustibles fósiles, el gran volumen que utiliza su almacenamiento debido a su baja densidad, su mayor costo de producción, la gran superficie de tierra fértil necesaria para su producción que podría ser utilizada con otros fines, entre otros.

A pesar de estas complicaciones, la biomasa como concepto posee varias ventajas como:

- Disminuye la dependencia externa de combustibles fósiles.
- Utilizando residuos de otras actividades se podría considerar como reciclaje.
- Su combustión no emite contaminantes que provoquen lluvia ácida.

La figura 3.5 muestra el ciclo de generación de biomasa.

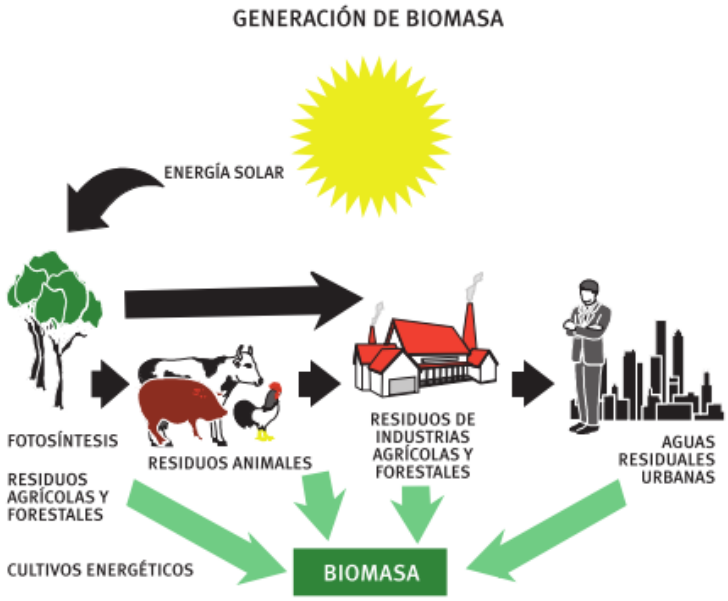


Figura 3.5: Generación de biomasa.

(Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

En Chile el mayor uso que se le da es entregar electricidad a hogares, alrededor del 50 %. Existe aproximadamente una capacidad instalada de 459,23 MW, ya que plantas termoeléctricas utilizan residuos forestales como combustible (Energía Abierta, 2017).

3.2.4. Energía Geotérmica

Este tipo de energía hace referencia a la que puede ser extraída de los fluidos geotérmicos provenientes de procesos naturales o artificiales que se concentran y generan el calentamiento del subsuelo. Debido a su origen, las áreas con mayor factibilidad de obtener acceso son en las que el magma está más cerca de la superficie, con una corteza delgada o fragmentada. Estas características se dan generalmente en los sectores donde chocan las placas tectónicas, debido a la fuerza generada por su constante fricción. Desde Sudamérica, pasando por América del Norte, Asia, hasta llegar a Oceanía, se considera existe una gran reserva de energía geotérmica generada por el llamado cinturón de fuego del pacífico, que también genera una alta actividad sísmica y volcánica en los cerca de 30 países que abarca.

La generación de electricidad mediante este tipo de fuente se efectúa de manera muy

parecida a la de una planta térmica a vapor convencional, en donde las turbinas, impulsadas por el fluido caliente proveniente del suelo son las generadoras finales de energía, y como última etapa está la reinyección del fluido geotérmico al reservorio bajo tierra. La figura 3.6 muestra de manera esquemática el proceso de generación eléctrica de una planta geotérmica.

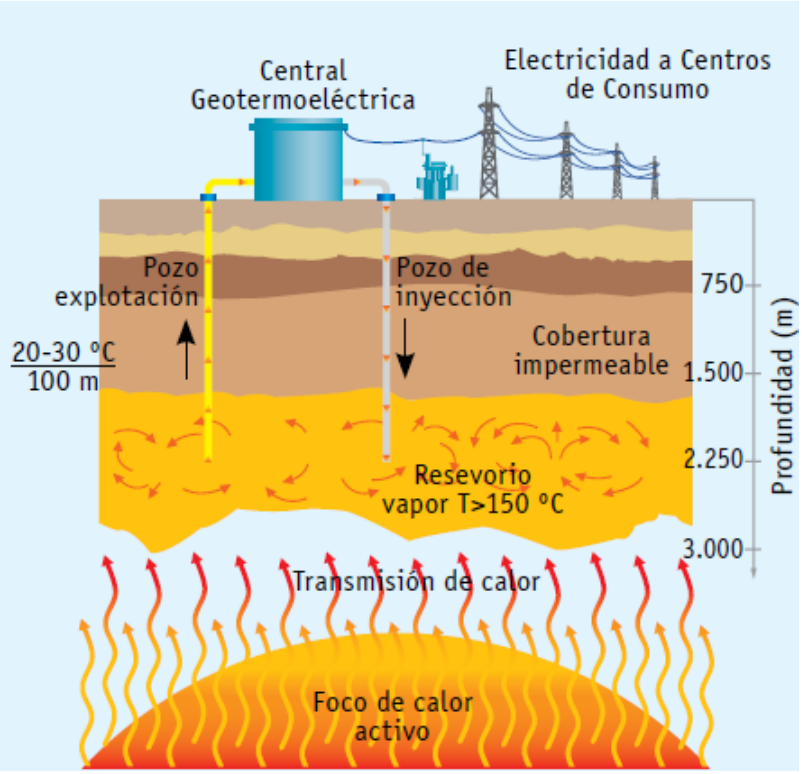


Figura 3.6: Esquema típico de una instalación geotérmica.

(Fuente: Introducción a las Energías Renovables No Convencionales 2006)

La gran diferencia con otros tipos de energía y lo que hace a la geotermia compleja, es la etapa de exploración, en donde lo primero que se realiza es un estudio regional que es netamente superficial, en donde la zona estudio puede acotarse desde 1.000 km^2 a 5 o 50 km^2, todo dependerá de las condiciones geográficas, la tecnología y recursos destinados.

Para determinar si un reservorio es adecuado para la generación de energía debe cumplir con ciertos parámetros de volumen de agua caliente atrapada, temperaturas y permeabilidad adecuada, sin embargo estas características solo pueden determinarse con certeza realizando un estudio más invasivo del terreno, por lo que realizar pozos exploratorios con una profundidad entre 1.000 y 2.500 metros es necesario para confirmar la localización de la planta.

Es importante destacar que, como el nombre lo indica, estos primeros pozos son exploratorios, por lo que no garantizan la inversión, lo cual es un problema en la actualidad debido al riesgo que genera para los inversionistas destinar su dinero en pozos que podrían entregar como resultado sólo pérdidas.

Las ventajas de estas plantas son por una parte, que se manejan casi de manera autónoma, demandando muy poco personal para su funcionamiento. La reinyección de fluido, si se realiza de manera correcta, elimina cualquier riesgo de contaminar el suelo. Además las emisiones de las plantas geotérmicas solo contienen dióxido de carbono y a un nivel muy inferior que las centrales térmicas que utilizan gas natural, petróleo o carbón para la combustión como se muestra en la figura 3.7.

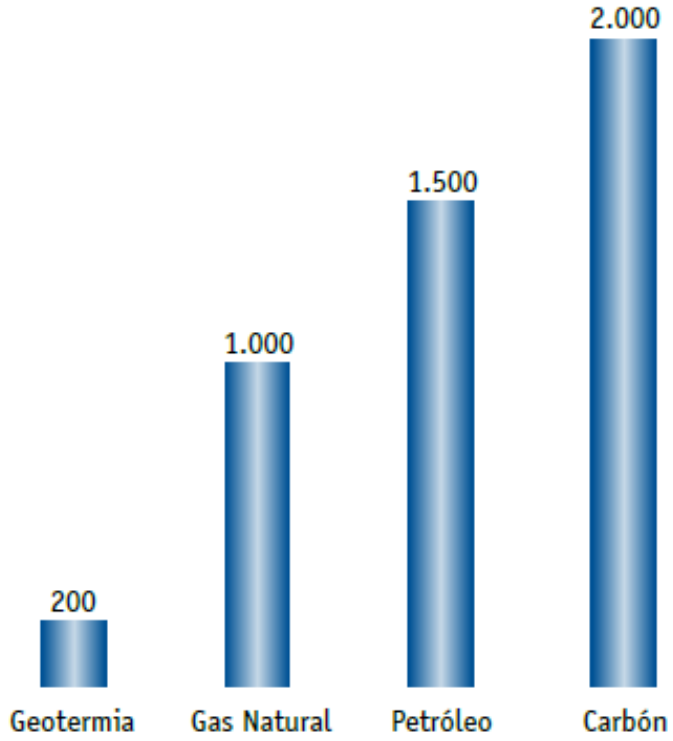


Figura 3.7: Comparación de emisiones de CO2 en lbs/MWh.

(Fuente: Introducción a las Energías Renovables No Convencionales 2006)

Chile se encuentra entre los países ubicados geográficamente donde existe un potencial de aprovechamiento de la energía geotérmica. El SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de

Geología y Minería, afirma que el país podría poseer un potencial geotérmico aprovechable para la generación eléctrica entre los 1.200 y 3.350 MW útiles, principalmente en la I y II región. Sin embargo esta no ha sido estudiada en detalle para este propósito, siendo los fines medicinales y turísticos su principal foco.

Se espera que esta situación cambie cuando los costos de la tecnología para su explotación disminuyan y luego de la promulgación de la ley "Sobre Consesiones de Energía Geotérmica" en el año 2000, en donde se estableció un reglamento claro para la explotación de este recurso.

Actualmente se encuentra en funcionamiento la central geotérmica de Cerro Pabellón, ubicada en la región de Antofagasta, con una capacidad instalada de 24 MW (Energía Abierta, 2017).

3.3. Concepto de Eficiencia Energética (EE)

La eficiencia energética hace referencia a reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso de bienes y servicios. Esto generalmente puede ir asociado a un cambio tecnológico de los artefactos o maquinarias utilizadas o bien a una mejora de la gestión y cambios en los hábitos y actitudes de las personas. Debe tomarse en cuenta la diferencia que existe entre el concepto de Ahorrar Energía y Eficiencia Energética, la primera puede significar el cese de una o más actividades con el propósito único de disminuir el nivel de uso de la energía, en cambio una medida de Eficiencia Energética propone la disminución energética, pero sin afectar el desarrollo de las actividades propuestas en un comienzo (AChEE, 2012).

El desarrollo acelerado de la sociedad en las últimas décadas ha conseguido que el consumo energético se multiplique en la mayoría de las actividades humanas, pero se destaca particularmente la línea de desarrollo de edificación. En Chile la edificación comercial, pública y residencial alcanzan el 27,1 % del consumo energético total del país, ocupando el tercer lugar luego del desarrollo industrial y minero (39,1 %) y del consumo por transporte (33,2 %) (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2013).

Desafortunadamente, el avance en tecnología no evita que actualmente cerca del 20 %

de la energía destinada a edificios se pierda por problemas de ineficiencia, lo cual lleva a un planteamiento tanto ambiental como económico en las organizaciones por desarrollar planes de eficiencia energética (Wang et al., 2016). El Plan de Acción de Eficiencia Energética (PAEE20), plantea que mediante los diferentes programas que se han diseñado, el ahorro para el año 2020 dentro de la línea de edificación alcanzará el 19,7 %, equivalente a 9.860 GWh (ref). Estos planes involucran programas de diagnóstico energético, capacitación técnica, desarrollo de información para el área de construcción y la promulgación de buenas prácticas de eficiencia energética.

La primera acción que se debe llevar a cabo para la formulación de un plan de EE es realizar un diagnóstico de las instalaciones en donde se quiere aplicar. De esta forma, realizando el levantamiento de los datos de consumo se puede generar una primera idea de cuál es el estado preliminar. Luego del análisis de los datos, pueden evaluar medidas que contribuyan a mejorar el rendimiento (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2013).

El tipo de medidas de EE que se implementará dependerá de las características de la entidad que las necesite, pero los procesos de Medición y Verificación posteriores a su implementación, aplican para todo tipo de proyectos sin importar el tamaño de la organización, esta metodología se aplica para que las medidas sean sustentables en el tiempo y también entren en un ciclo de mejora continua.

3.4. Concepto Huella de Carbono

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define huella de carbono como la cantidad neta de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) expresados en masa de Dióxido de Carbono equivalente. Estos gases han provocado indiscutiblemente un cambio climático en nuestros tiempos, existen evidencias considerables de que la mayor parte del calentamiento global ha sido causado por las actividades humanas. Hoy en día, casi todas las actividades cotidianas, como movilización y alimentación, junto con casi todos los bienes como de consumo u hogar, implican un consumo de energía, lo que se traduce en una contribución a las emisiones hacia la atmósfera (ISO, 2011).

Bajo esta premisa, se define el concepto de Huella de Carbono asociado al de CO2 equivalente, lo cual significa que dentro de los gases emitidos por una actividad pueden producirse distintos tipos de gases, pero estos son llevados a su equivalencia de impacto en CO2 para facilitar su análisis. Este análisis abarca todas las actividades de un ciclo de vida, desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo, permitiendo a los consumidores decidir qué productos o servicios comprar en base a la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado.

La medición de la huella de carbono de un producto crea verdaderos beneficios para las organizaciones. Ésta identifica las fuentes de emisiones de GEI de un producto. Esto por lo tanto permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de costo mejor dirigidas, todo ello consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones, que pueden o no ser responsabilidad directa de la organización.

Por tanto la huella de carnbono representa una medida para que las organizaciones contribuyan a ser entidades socialmente responsables y un elemento más de concienciación para la aceptación entre los ciudadanos de prácticas más sostenibles.

3.5. Sello de Eficiencia Energética

A pesar de los beneficios inherentes de la eficiencia energética, como reducción de costos, aumento de competitividad y reducción de emisiones, las organizaciones buscan acreditar que esta práctica esté incorporada en su estructura, por lo que el Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, a través de la ACHEE ha tenido la iniciativa de entregar un Sello de Eficiencia Energética para reconocer a las empresas que han establecido este tipo de políticas, con el objetivo de condecorar anualmente la eficiencia de recursos energéticos (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2014).

Una vez obtenido el reconocimiento, la organización recibe un diploma y un trofeo entregado por el Ministerio de Energía. Además, esto permitirá a la empresa utilizar la obtención del sello como material publicitario o de promoción propia. También tendrán la opción de optar por alguno de los siguientes beneficios por orden de postulación:

- Becas del 50 % del costo total del curso y examen para la obtención de la certificación internacional denominada Certified Enegy Manager (CEM). Este tipo de beneficio se otorga a una persona natural, por lo que cada empresa puede suscribir solo a una persona, las bases de de la certificación y requisitos se encuentran en el sitio web www.acee.cl.

- Becas para la cobertura de arancel de cursos de capacitación entregados por la AChEE (Asociación Chilena de Eficiencia Energética).

A continuación, se definen las categorías del Sello EE que demuestran el nivel de avance y esfuerzo de las compañías en materia de eficiencia energética de acuerdo al Ministerio de Energía de Chile:

Sello EE Gold: Corresponde a la máxima distinción posible, ésta requerirá que el postulante cuente con al menos dos medidas de eficiencia energética, junto con un sistema de gestión de energía, ambas implementadas de manera íntegra y con certificación ISO 50.001 vigente al momento de la postulación, emitido por una institución acreditada para esos efectos.

Sello EE Silver: Corresponde a un reconocimiento a aquellas empresas que han logrado la implementación de un proyecto o iniciativa de eficiencia energética, y además, cuenten con un Sistema de Gestión de la Energía implementado de manera íntegra, operativo y con seguimiento a los resultados.

Sello EE Bronze: Corresponde a un reconocimiento a aquellas empresas que han llevado a cabo la implementación de una medida de eficiencia energética y que cuentan con un encargado de la gestión energética en sus instalaciones.

Las bases en detalle de postulación para la obtención del Sello de Eficiencia Energética se pueden descargar del sitio web `www.selloee.cl`

3.6. ISO 50.001: Sistemas de Gestión de la Energía

ISO es la Organización Internacional de Normalización, la cual posee alrededor de 160 organismos de normalización de distintas partes del mundo. Esta organización posee más de 18.600 normas que ofrece tanto a empresas como a gobiernos, de manera que éstas se utilicen como una herramienta práctica para el desarrollo sostenible, que como fue explicado anteriormente consta de tres pilares fundamentales: económico, ambiental y social.

Este tipo de normas son desarrolladas por expertos provenientes directamente de los sectores donde se quiere implementar dicha norma, el que prácticamente puede ser de cualquier ámbito como agricultura, construcción, ingeniería mecánica, fabricación, distribución, transporte, dispositivos médicos, tecnologías de información y comunicación, medio ambiente, energía, gestión de calidad, evaluación de la conformidad y servicios. Por lo que finalmente una norma ISO representa el concenso mundial al que se ha llegado sobre cierta materia.

La ISO 50.001 tiene como propósito permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo de la energía. Es aplicable a cualquier tipo y tamaño de organización sin importar las diferencias culturales, territoriales y si corresponde al sector público o privado.

La norma tiene por objeto cumplir lo siguiente:

- Ayudar a las organizaciones a aprovechar mejor sus actuales activos de consumo de energía
- Crear transparencia y facilitar la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos
- Promover las mejores prácticas de gestión de la energía y reforzar las buenas conductas de gestión de la energía
- Ayudar a las instalaciones en la evaluación y dar prioridad a la aplicación de nuevas tecnologías de eficiencia energética

- Proporcionar un marco para promover la eficiencia energética a lo largo de la cadena de suministro
- Facilitar la mejora de gestión de la energía para los proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Permitir la integración con otros sistemas de gestión organizacional, como ser el ambiental, y de salud y seguridad.

Esta norma no establece requisitos de forma absoluta, más bien exige el compromiso de una política energética de la organización, funcionando como una guía y no como una reglamentación. Es por esto que dos organizaciones con operaciones similares que se desenvuelven en una misma industria, pero que poseen características diferentes de desempeño energético pueden ajustar sus requisitos.

3.7. Auditoría energética

Una auditoría corresponde al proceso sistemático y documentado que busca obtener evidencia y evaluarla objetivamente, para determinar en este caso, el desempeño energético de una organización, de un proceso o ambos y el cumplimiento de sus objetivos anteriormente planteados. Los resultados de la auditoria generalmente incluyen información sobre los consumos y desempeño actual, pudiendo incluir una serie de recomendaciones para mejorar el rendimiento del uso de energía (ISO, 2011).

En la actualidad la sociedad vive en una era donde la energía es absolutamente necesaria para mantener su estilo de vida, en un sentido mucho más amplio que el brindar comodidad y conveniencia a nuestro día a día.

El ahorro de energía se traduce en varios resultados:

- Implica disminuir costos mediante la reducción de consumo.
- Implica disminuir el consumo de combustibles de origen primario, como carbón, gas, petróleo, uranio, etc.
- Implica reducir la producción de contaminación.

Por lo tanto, es un hecho que hay buenas razones para no descartar el ahorro energético. La energía es un recurso limitado, considerando que las organizaciones no pueden permitirse adquirir toda la que quieran, debido a que implica un costo y esto limitan el funcionamiento o crecimiento de la misma por el presupuesto que debe destinar.

El ahorro de energía en todas sus manifestaciones, se ha convertido en un tema muy importante en el desarrollo de la humanidad. Para llevarlo a cabo, el primer paso es la realización del Diagnóstico Energético, el cual identifica y analiza los elementos que caracterizan la situación actual, puesto que de la certeza de la información de las instalaciones estudiadas, dependerá el éxito de las decisiones que posteriormente se tomarán. La Auditoría por tanto necesita del Diagnóstico, ya que se lleva a cabo en un sistema de trabajo definido , documentado y con objetivos como se mencionó anteriormente, lo cual proviene del diagnóstico.

Por otro lado, pretender realizar un proyecto de ahorro energético saltándose un diagnóstico energético, suele llevar a fracasos rotundos, en donde no solo hay pérdidas de dinero por la inversión, sino que existe decepción por las personas involucradas, afectando la credibilidad y disposición para proyectos futuros del mismo tipo.

4 | Metodología

La metodología aplicada en el presente proyecto es un diseño propio basado en el proceso de Planificación Energética propuesta en la norma ISO 50.001 el cual no representa los detalles de una organización específica, sino que ayuda de una manera transversal a la realización de un diagnósticos energético (ISO, 2011), el que se fundamenta en las siguientes fases:

4.1. Información de entrada

4.1.1. Diagnóstico General

En esta fase se caracterizará los aspectos generales de la institución bajo estudio, lo que implica presentar un contexto en el cual se está realizando el diagnóstico, tales como aclaraciones referentes al rubro de la organización, actividades principales, personas vinculadas y aspectos territoriales, climáticos y de infraestructura .

4.1.2. Obtención de Datos de Consumos Generales

Esta fase consiste en realizar una recolección de todos los datos de consumo energético y equipos instalados dentro del establecimiento en un periodo acotado de tiempo, idealmente lo más cercano a la fecha actual, para disminuir el sesgo por posibles modificaciones en la infraestructura, proveedores y personas asociadas al área en estudio.

4.1.3. Cálculo de Huella de Carbono

En esta fase se obtendrá la cantidad de dióxido de carbono equivalente emitido por los campus a partir de los consumos energéticos previamente calculados.

4.2. Revisión Energética

4.2.1. Análisis del Consumo y Gasto Energético

Se realizará la contabilidad de energía consumida en función de los datos históricos recopilados, lo cual se presenta en forma de gráficos y tablas para su mejor comprensión. Se desglosa la energía total consumida por la institución, tanto por tipo de fuente como por cantidad de uso. La realización de este punto entrega confiabilidad y respaldo a las recomendaciones al finalizar el estudio.

4.2.2. Identificación Áreas de Uso y Fuente de Consumo significativo

Se determinará cuál es el tipo de fuente energética de donde provienen los mayores consumos y a su vez las áreas que generan mayor gasto.

4.2.3. Definición de Línea Base de Energía

En este punto se dejará especificada la información tanto de los consumos como de las condiciones generales de las instalaciones, de modo que a futuro se pueda evaluar el ahorro energético independiente de los cambios que se puedan llegar a producir, tales como ampliaciones y aumento de dotación.

4.3. Formulación de Propuestas en base al Diagnóstico Energético

En base a la información anteriormente analizada, se determinará una cartera de oportunidades de ahorro energético, la cual podrá ser evaluada según la visión y los intereses que tenga la institución.

5 | Análisis y Resultados

5.1. Recopilación de Información

Los datos para la realización del siguiente estudio fue resultado de la recopilación de información mediante entrevistas presenciales y vía correo electrónico según se detalla en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Personal administrativo UTFSM que colaboró con información.

Nombre	**Cargo**
Paola Hinojosa H.	Subdirectora de Administración y Finanzas UTFSM
Rodrigo Montecino R.	Encargado de Mantenimiento e Infraestructura Campus San Joaquín
Alejandro Miranda A.	Encargado de Mantenimiento e Infraestructura Campus Vitacura
Gonzalo Silva G.	Encargado de Activo Fijo Campus Santiago
Francisca Sepúlveda S.	Secretaria Mantenimiento e Infraestructura Campus San Joaquín
Jacqueline Tejera D.	Encargada Casino Campus San Joaquín
Victor Canas	Encargado Casino Campus Vitacura
Julio Parraguez	Operario eléctrico de Mantención
Miriam Ibarra	Asistente de Subdirección de Administración y Finanzas
Danilo Muñoz	Asistente Contable de Subdirección de Administración y Finanzas

(Fuente: Elaboración propia)

5.2. Diagnóstico General

Las instalaciones bajo estudio corresponden a los Campus San Joaquín y Vitacura de la Universidad Técnica Federico Santa María, institución que pertenece al rubro de Enseñanza Superior según el código de actividad económica 803010 asignado por el Servicio de Impuestos Internos (SII).

5.2.1. Territorial

Ambos campus definidos para este estudio se encuentran localizados en la Región Metropolitana, en la provincia de Santiago, en las respectivas comunas que indican sus nombres.

En las figuras 5.1 y 5.2 se muestra la ubicación exacta de cada campus:

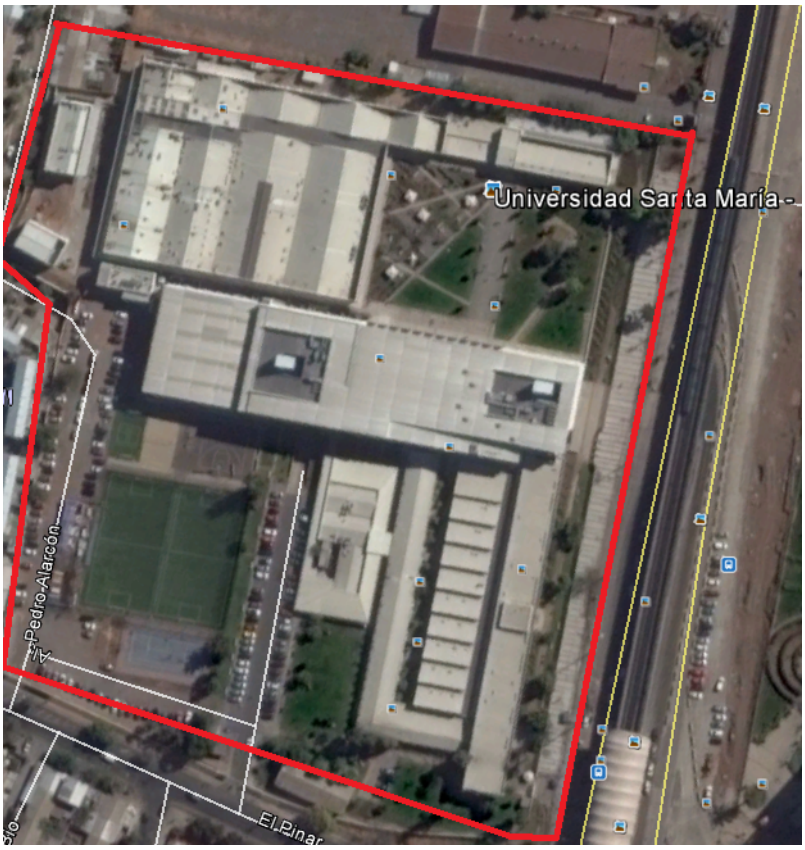


Figura 5.1: Mapa aéreo Campus San Joaquín UTFSM.

(Fuente: Google Earth 2017)

Figura 5.2: Mapa aéreo Campus Vitacura UTFSM.

(Fuente: Google Earth 2017)

5.2.2. Climático

Debido a la cercanía de ambas comunas en la que se encuentran los campus bajo análisis, se considerarán las características climáticas más generales como las equivalentes a la de la Región Metropolitana, haciendo diferencia en aspectos más específicos que podrían generar alguna diferencia en la evaluación de proyectos y toma de decisiones posterior al diagnóstico energético.

Las características climáticas principales que presenta la Región Metropolitana corresponden al tipo “mediterráneo”, con una prolongada estación seca y un invierno lluvioso. La temperatura promedio anual es de 14,6 °C, mientras que el mes más caluroso corresponde a enero alcanzando una temperatura promedio de 22,1 °C, y el mes más frío corresponde a julio con una temperatura promedio de 7,7 °C. Las características respecto a las precipitaciones son parecidas al resto del país, decrecen a medida que se alejan de la Cordillera de la Costa y se acerca a la depresión intermedia, para luego aumentar cerca de la Cordillera de los Andes, alcanzando apenas los 359 mm anuales, sin embargo, cabe destacar que existe

una irregularidad característica respecto a las precipitaciones, ya que un año puede ser más lluvioso que otro Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2017). En la figura 5.3 se resume la información anterior respecto al climograma de la región:

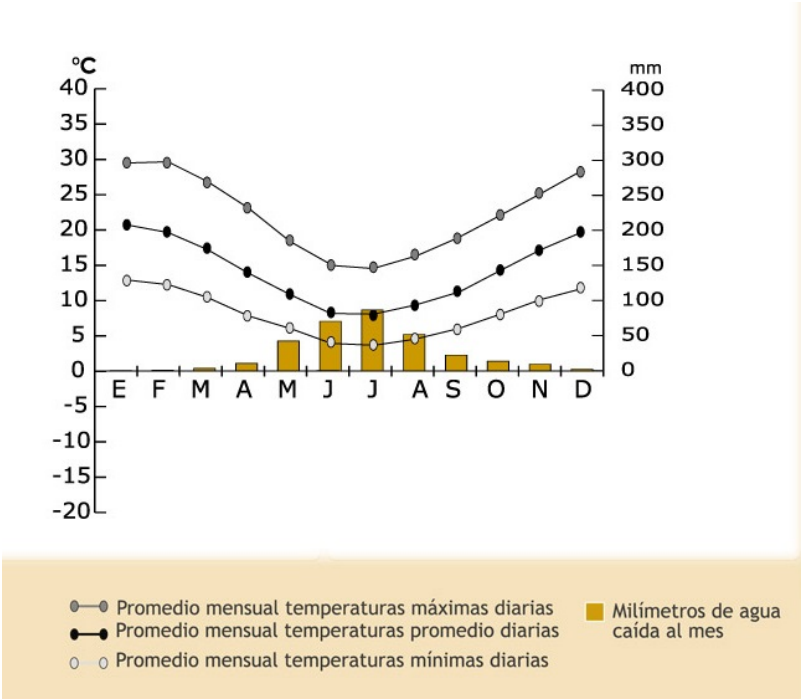


Figura 5.3: Climograma Región Metropolitana.

(Fuente: EducarChile 2016)

5.2.3. Infraestructura

Debido al rubro al cual pertenece la universidad, ambas instalaciones están principalmente conformadas por construcciones destinadas a la docencia y a su propia administración interna. En la tabla 5.2 se presenta la información general de ambos campus:

Tabla 5.2: Información General territorial de los Campus Santiago.

Campus	m^2 **construidos**	**N° Edificios**
Vitacura	12.196	7
San Joaquín	35.553	10

(Fuente: Informe de Autoevaluación Institucional UTFSM 2016)

Por otra parte, en la tabla 5.3 se muestra el número de personas vinculadas a cada uno

de los campus:

Tabla 5.3: Número de personas relacionadas según campus al 2016.

Campus	Matrículas	Profesores
Vitacura	1883	123
San Joaquín	2603	187

(Fuente: Informe de Autoevaluación Institucional UTFSM 2016)

5.3. Diagnóstico Energético por Campus

5.3.1. Campus San Joaquín

5.3.1.1. Datos de consumo generales

A continuación se presentan los datos obtenidos de la recolección de información correspondiente al campus San Joaquín.

Actualmente, para que la realización de actividades se lleve a cabo, el campus utiliza cuatro tipos de fuentes energéticas:

- Electricidad
- Petróleo
- Combustible
- Gas licuado

La información relacionada con los consumos eléctricos fue proporcionada por el encargado de mantenimiento e infraestructura del campus San Joaquín, quien facilitó información desde el año 2014 hasta el 2016 en este parámetro. Respecto a la información de consumo en petróleo, combustible y gas licuado, fue proporcionado por la subdirectora de administración y finanzas de campus San Joaquín y Vitacura para el año 2016.

La información fue entregada mediante copia de las boletas emitidas y en el caso del combustible por una base de datos de elaboración propia. Debido a la diferencia de unidades

de medida en cada uno de los formatos en que fue entregada la información, se tomó la decisión de convertir la cantidad de energía a kWh con factores de conversión propuestos por la AChee (AChEE, 2017) , como se presenta en la tabla 5.4 y 5.5:

Tabla 5.4: *Campus San Joaquín:* Resumen energía eléctrica consumida en años 2014 y 2015

	Consumo (kWh)	**Gasto (CLP)**
Total Electricidad 2014	1.216.134	$49.574.783
Total Electricidad 2015	1.297.093	$68.835.196

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 5.5: *Campus San Joaquín:* Resumen energía consumida por volumen y costo.

	Consumo (kWh)	**Gasto (CLP)**
Total Electricidad 2016	1.692.341	$102.922.891
Total Petróleo 2016	4.645	$190.350
Total Combustible 2016	75.235	$4.395.000
Total GL 2016	115.644	$3.618.510
Total 2016	**1.887.865**	**$ 111.126.751**

(Fuente: Elaboración Propia)

A partir de la tabla 5.5 se realiza la representación gráfica de la distribución del consumo según tipo de fuente energética para el año 2016, tanto por volumen de energía como por su distribución de costo.

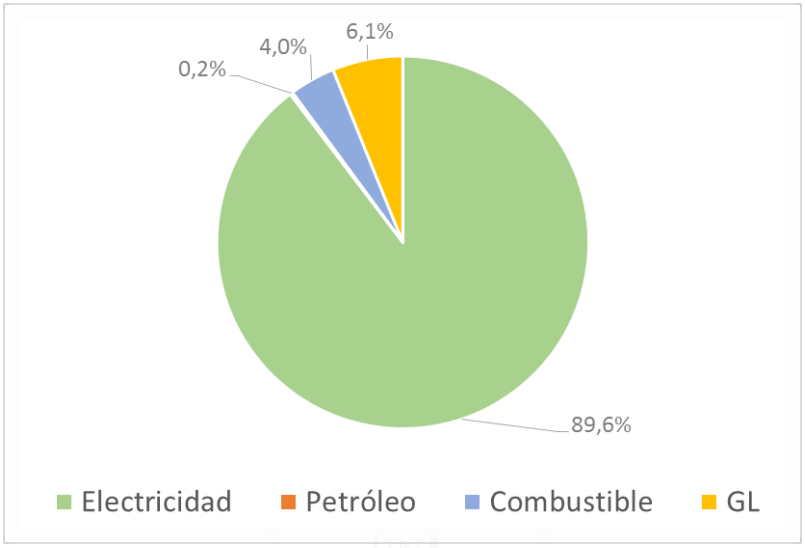


Figura 5.4: *Campus San Joaquín:* Distribución porcentual del consumo energético en kWh según tipo de energía durante el 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

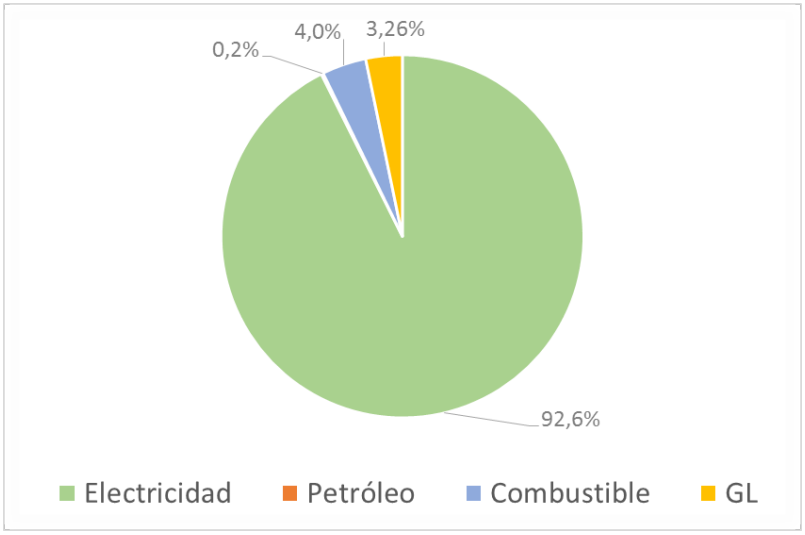


Figura 5.5: *Campus San Joaquín:* Distribución porcentual del gasto energético en CLP según tipo de energía durante el 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo a las figuras 5.4 y 5.5 se puede desprender de forma directa que prácticamente el 90 % del consumo energético corresponde a electricidad, seguida por el gas licuado, utilizado únicamente para la preparación de alimentos en el casino y el combustible para los medios de transporte, con una proporción similar, pero que ronda el 5 %. Por otra parte el consumo de petróleo respecto al resto de los tipos de fuente es prácticamente despreciable,

con una participación inferior al 1 % del total, tanto en volumen como en costo para este período, su baja participación se debe a que el petróleo es utilizado únicamente como combustible del motor de asistencia al suministro eléctrico, en caso de sufrir alguna falla.

La diferencia de las cuotas porcentuales según volumen y costo, se deben a que el precio por unidad energética es distinta para cada tipo de fuente, además de poseer sus propias variaciones según la situación económica mundial, nacional y estacional.

5.3.1.2. Cálculo Huella de Carbono

El siguiente análisis de huella de carbono está referido específicamente al consumo energético del campus San Joaquín, con el objetivo de identificar las principales fuentes asociadas a las emanaciones de CO_2 y donde sería más provechosa una futura medida en pro de las disminuciones de la huella de carbono de la universidad.

Los factores de conversión para cada combustible presente en la tabla 5.6 fueron extraídos del Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), quien es el ente gubernamental responsable de la protección del medioambiente, estándares y producción de comida, agricultura, pesca y de la comunidad rural en el Reino Unido.

Tabla 5.6: *Campus San Joaquín:* Huella de Carbono asociada a consumos energéticos para el año 2016.

Origen	$kgCO_2\,e$	**%**
Total Emisiones Petróleo en generación eléctrica de la empresa	1.215	0,2
Total Emisiones en consumo Fuel por transporte	10.314	1,4
Total Emisiones en consumo Diésel por transporte	12.362	1,7
Total Emisiones en consumo Gas Licuado en fuentes fijas	23.642	3,2
Total Emisiones por consumo Eléctrico	697.329	93,6
Total de Emisiones	**744.863**	**100**

(Fuente: Elaboración Propia)

5.3.1.3. Análisis por Fuente de Energía

Para comprender en mayor detalle el consumo de electricidad, fuente evidentemente más relevante al interior del campus, se confecciona el gráfico de la figura 5.6 respecto a los consumos mensuales desde el año 2014 hasta el 2016.

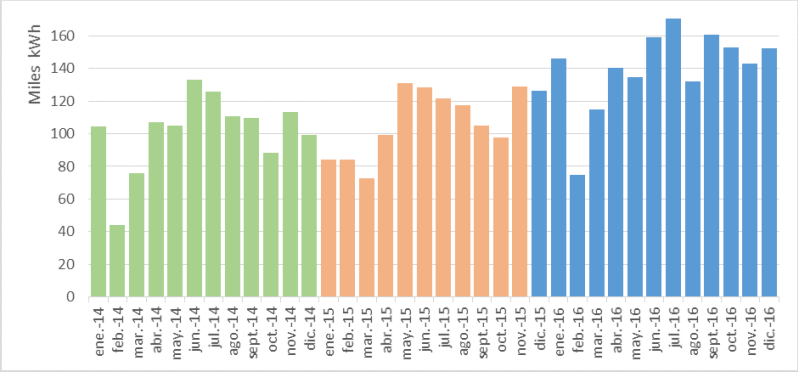


Figura 5.6: *Campus San Joaquín:* Consumos de electricidad en kWh correspondiente al período 2014 - 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

Como puede esperarse por el tipo de rubro de la institución, el consumo energético presenta estacionalidad, viéndose reducido en los meses de verano, alcanzando los mínimos en los meses de febrero, donde no se realizan actividades docentes y se suspenden las actividades administrativas por receso de verano.

Los peak de consumo presentan una característica diferente, alcanzando un máximo global en los meses de invierno, principalmente enfocado en junio y julio, y por otra parte se alcanza un máximo local en los meses de verano exceptuando el mes de febrero.

Utilizando las bases de datos de equipos de la universidad, se procede a realizar un análisis al interior del consumo eléctrico. Para esto es necesario identificar el tipo y número de equipos más representativos de alto consumo eléctrico y determinar una tasa de utilización promedio para cada uno. Dentro de estos equipos se encuentran los aparatos de aire acondicionado, de los cuales se registran alrededor de 250.000 BTU instaladas. Se realiza una aproximación de 10.000 BTU en los equipos declarados que no poseen la especificación técnica y se asume una utilización promedio de 6 horas. El registro de computadores del campus alcanza las 700 unidades y se establece una utilización promedio de 4 horas al día.

De manera paralela se hace uso de la base de datos dispuesta de iluminarias del Campus San Joaquín, para realizar una estimación de consumo. Entre los aparatos que más destacan están los tubos de 36 W, alcanzando alrededor de 1.800 unidades, tubos de 18 W con 560 unidades, 550 unidades de ampolletas PL y alrededor de 360 ampolletas de ahorro de energía. Se calcula con un promedio de 8 horas de utilización diaria.

Cabe destacar que una parte importante de los activos de iluminación del campus habían sido reemplazados por otros de menor consumo durante el período de análisis de este trabajo (año 2016).

Los cálculos son realizados considerando la estacionalidad de la universidad y la disminución del número de personas que ocupan las instalaciones en los meses de verano.

De esta manera se logra desglosar el consumo eléctrico por grupos de aparatos como se muestra a en la tabla 5.7.

Tabla 5.7: *Campus San Joaquín:* Distribución consumo eléctrico por tipos de equipos en kWh para el año 2016.

Equipos	**kWh**	**%**
Climatización	855.360	51
Iluminación	359.970	21
Equipos Computación	277.200	16
Otros	199.811	12
Consumo Eléctrico Anual	**1.692.341**	**100**

(Fuente: Elaboración Propia)

La figura 5.7 plasma los datos de la tabla anterior de manera más gráfica.

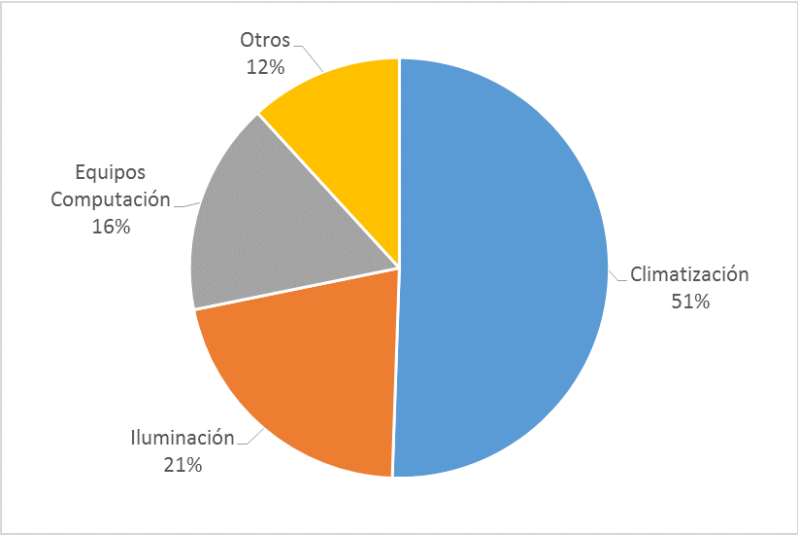


Figura 5.7: *Campus San Joaquín:* Distribución consumo eléctrico en kWh para el año 2016.
(Fuente: Elaboración Propia)

Lo anterior permite afirmar que prácticamente el 50 % del consumo eléctrico, está asociado a la climatización del campus, seguida por la iluminación con un 21 %, lo equipos computacionales con un 16 % y dejando finalmente con un 12 % al resto de aparatos relacionados con máquinas de laboratorio, equipos de refrigeración para el casino, equipos de asistencia a la educación, etc.

5.3.1.4. Análisis por Área de Consumo

Los datos expuestos en esta sección permiten finalmente realizar un desglose por área de consumo dentro del campus, abarcando todos los tipos de fuente utilizados como se muestra en la figura 5.8.

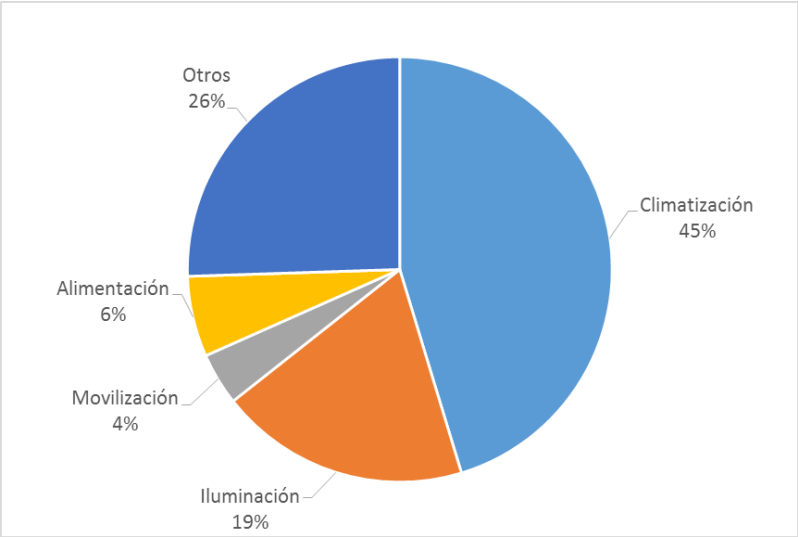


Figura 5.8: *Campus San Joaquín:* Distribución consumo total energético en kWh para el año 2016. (Fuente: Elaboración Propia)

Lo anterior refleja que, considerando el total de energía consumida por el campus, por sus cuatro tipos de fuente, el 45 % del total corresponde a la climatización, lo que la posiciona como el principal foco de la matriz energética del Campus San Joaquín y explica la estacionalidad del consumo eléctrico durante los meses del año, aumentando por primera vez en los meses de pleno invierno y luego en los meses de verano. Como segundo foco concreto de consumo se encuentra la iluminación con un 19 %, la cual en parte ya recibió una mejora en la eficiencia de sus aparatos, lo que explica su baja participación.

5.3.1.5. Definición de Línea Base de Energía

Los datos compilados del Campus San Joaquín y específicamente analizados para el periodo calendario del año 2016 cumplen con la definición de una Línea Base de Energía. Por lo tanto los gráficos y tablas obtenidos del consumo energético para este campus servirán de punto de comparación frente a una implementación futura de eficiencia o ahorro, la cual debe ser medida en la misma ventana de tiempo.

De acuerdo a resultados obtenidos en consumos energéticos se puede calcular un índice de energía consumida por unidad de área construida. Este valor corresponde a:

$$\frac{kWh}{m^2} = \frac{1887865}{35553} = 53{,}1\,\frac{kWh}{m^2} \tag{5.1}$$

5.3.2. Campus Vitacura

5.3.2.1. Datos de Consumo Generales

A continuación se presentan los datos obtenidos de la recolección de información correspondiente al campus Vitacura.

Actualmente, para que la realización de actividades se lleven a cabo en el campus, se utilizan cinco tipos de fuentes energéticas:

- Electricidad
- Petróleo
- Combustible
- Gas licuado
- Gas Natural licuado

La información relacionada con los consumos eléctricos y de petróleo fue proporcionada por el encargado de mantenimiento e infraestructura del campus Vitacura, quien facilitó los datos disponibles. El consumo de petróleo fue proporcionado de manera exacta, sin embargo el consumo eléctrico presenta una anomalía durante los años 2015 y 2016, debido a una avería en los medidores, por lo cual no es posible conocer los datos de este período, ya que en las boletas solo figuran los cobros por el arriendo de equipos, pero no el de consumo energético.

En el gráfico de la figura 5.9 se muestran los datos efectivamente recopilados por las boletas, mientras existía la avería en los medidores:

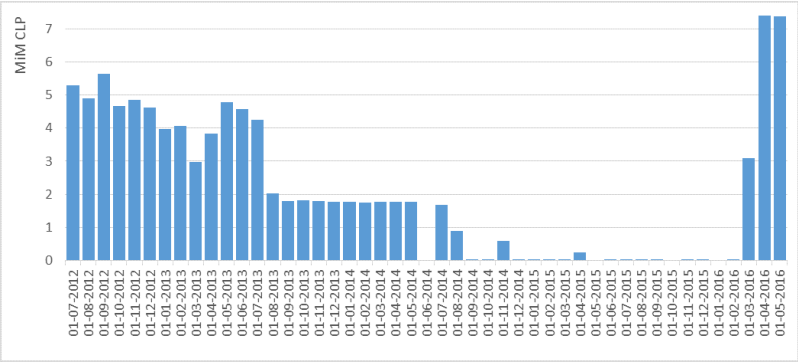


Figura 5.9: *Campus Vitacura:* Medición consumo eléctrico durante avería.
(Fuente: Elaboración Propia)

Debido al inconveniente anteriormente explicado, se decidió efectuar una estimación del consumo para el campus, utilizando como base un período en el que los medidores estaban bajo correcto funcionamiento, utilizando finalmente parte del año 2012 y 2013. Para realizar una aproximación más adecuada se incrementó el gasto energético del período seleccionado en la misma proporción que el incremento de matrículas en el campus, es decir un 5 %, debido a que este establecimiento no ha sufrido modificaciones significativas en su infraestructura.

Respecto al precio de kWh se tomó el mismo valor de cada uno de los meses cobrado al Campus San Joaquín durante el 2016, del cual se tiene la información completa y puede ser calculado.

Respecto a la información de consumo de combustible, gas licuado y gas natural, fue proporcionado por la subdirectora de administración y finanzas de campus San Joaquín y Vitacura para el año 2016.

Al igual que como fue explicado en el diagnóstico del campus San Joaquín, la información fue entregada mediante copia de las boletas emitidas y en el caso del combustible por una base de datos de elaboración propia. Debido a la diferencia de unidades de medida en cada uno de los formatos en que fue entregada la información, se tomó la decisión de convertir la cantidad de energía a kWh con factores de conversión propuestos por la AChee (AChEE, 2017), como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.8: *Campus Vitacura:* Resumen energía consumida por volumen y costo durante el año 2016.

	Consumo (kWh)	**Gasto (CLP)**
Total Electricidad	936.220	$56.865.747
Total Petróleo	7.937	$325.268
Total Combustible	147.989	$8.645.000
Total GL	164.224	$5.138.564
Total GNL	166.328	$7.036.982
Total	**1.422.698**	**$ 70.974.579**

(Fuente: Elaboración Propia)

A partir de la tabla 5.8 se confeccionan las gráficas de la figuras 5.10 y 5.11 , las cuales representan la distribución del consumo según tipo de fuente energética para el año 2016, tanto por volumen de energía como por su distribución por costo.

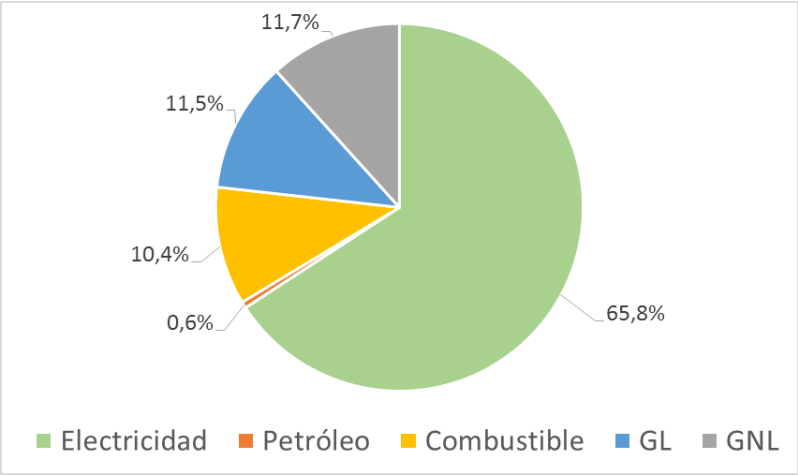


Figura 5.10: *Campus Vitacura:* Distribución porcentual del consumo energético en kWh según tipo de energía durante el año 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

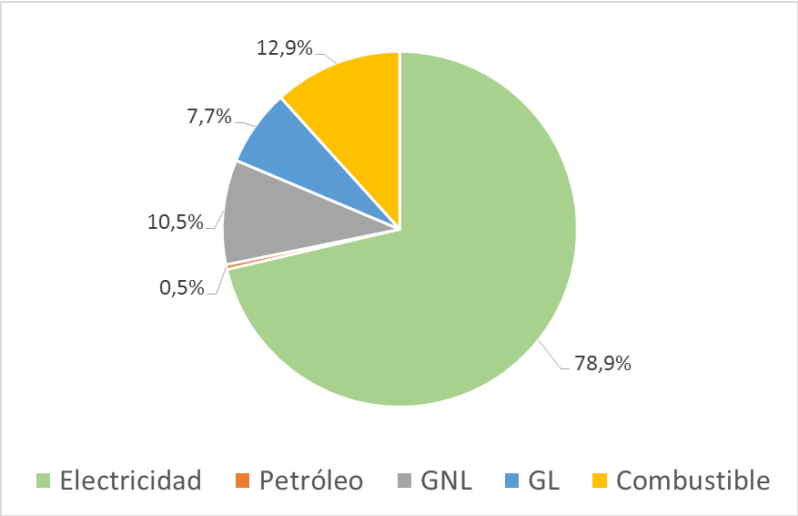


Figura 5.11: *Campus Vitacura:* Distribución porcentual del gasto energético en CLP según tipo de energía durante el año 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

Directamente se puede apreciar que, al igual que en el campus San Joaquín, existe una fuerte tendencia al consumo de energía eléctrica, pero en una relación porcentual bastante menor que el 90 % obtenido en el campus vecino. En campus Vitacura el consumo eléctrico ronda el 78 % del total de energía consumida, seguido por el combustible, gas natural y gas licuado, en una proporción similar que ronda el 10 % cada uno, por lo que se podrían agrupar preliminarmente en un mismo nivel de importancia para estudios futuros. Finalmente se encuentra el petróleo, con una participación inferior al 1 % tanto en volumen de energía como en costos para el campus.

5.3.2.2. Cálculo Huella de Carbono

El siguiente análisis de huella de carbono está referido específicamente al consumo energético del campus Vitacura, con el objetivo de identificar las principales fuentes asociadas a las emanaciones de CO_2 y donde sería más provechosa una futura medida en pro de las disminuciones de la huella de carbono de la universidad.

Los factores de conversión para cada combustible presente en las tablas a continuación fueron extraídos del Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), quien es el ente gubernamental responsable de la protección del medioambiente, estándares y producción de comida, agricultura, pesca y de la comunidad rural en el Reino Unido.

Tabla 5.9: *Campus San Vitacura:* Huella de Carbono asociada a consumos energéticos para el año 2016.

Origen	$kgCO_2\ e$	**%**
Total Emisiones Petróleo en generación eléctrica de la empresa	2.076	0,4
Total Emisiones en consumo Fuel por transporte	10.314	2,1
Total Emisiones en consumo Diésel por transporte	37.086	7,4
Total Emisiones en consumo Gas Licuado en fuentes fijas	33.574	6,7
Total Emisiones en consumo Gas Natural en fuentes fijas	34.004	6,8
Total Emisiones por consumo Eléctrico	385.770	76,7
Total de Emisiones	**502.824**	**100**

(Fuente: Elaboración Propia)

5.3.2.3. Análisis por Fuente de Energía

Para comprender en mayor detalle el consumo de electricidad, fuente evidentemente más relevante al interior del campus, se confecciona el gráfico de la figura 5.12 en base a las estimaciones para el año 2016 antes explicadas:

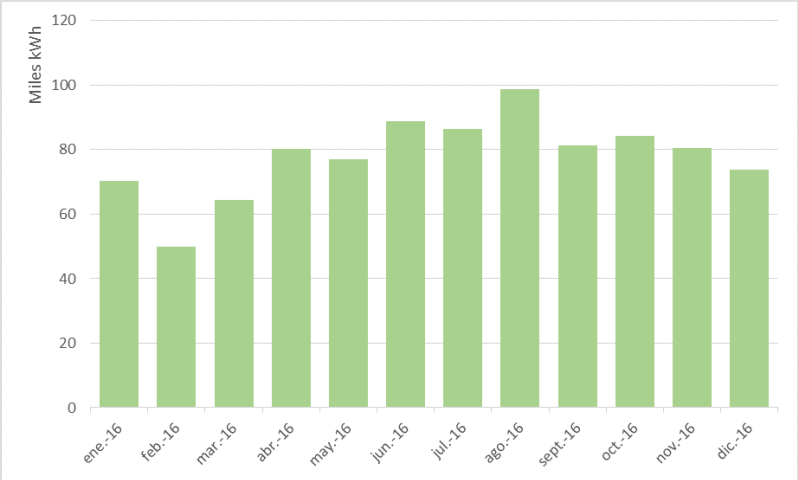


Figura 5.12: *Campus Vitacura:* Consumos de electricidad estimada en kWh durante el año 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

Al igual que en el análisis anterior del campus vecino, el consumo de electricidad

presenta estacionalidad, observándose un máximo global durante los meses de invierno y un mínimo global durante el mes de febrero, lo que se justifica por la suspensión de actividades tanto académicas como administrativas del campus. Por otra parte se puede decir que, el gas natural y el combustible, dos de los tres tipos de fuente energética que siguen luego de la electricidad, se consumen de manera equitativa durante los meses de funcionamiento del campus, sin embargo el gas natural, fuente utilizada en el establecimiento para calefacción por caldera, posee un consumo irregular durante el año. En las figuras 5.13 y 5.14 se presentan los gráficos asociados al gas natural.

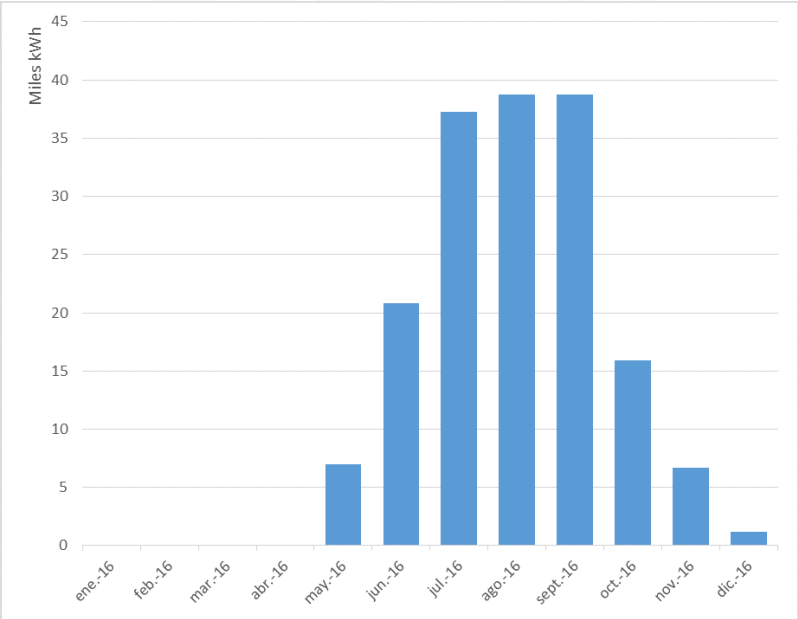


Figura 5.13: *Campus Vitacura:* Consumos de GNL en kWh durante el año 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

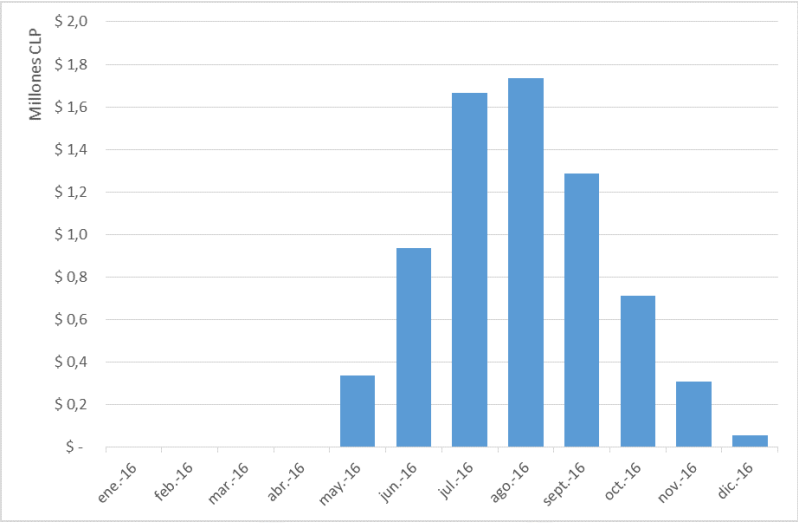


Figura 5.14: *Campus Vitacura:* Gasto en GNL en CLP durante el año 2016.
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se puede observar en este tipo de fuente, al igual que lo que ocurre con el consumo de electricidad, posee estacionalidad, iniciando el año sin consumo y siendo mayo el primer mes con utilización, luego se puede localizar el máximo de consumo evidentemente en los meses cercanos a invierno, sin embargo si se observa el gráfico de kWh, este máximo correspondería a julio agosto y septiembre, pero en el gráfico que muestra el costo sólo se aprecian como máximo los meses de julio y agosto, por lo que se puede interpretar que el costo por unidad de energía consumida de gas natural durante septiembre, es más barato que el de julio y agosto.

Finalmente el consumo disminuye considerablemente cada mes en relación con su período anterior hasta llegar a diciembre donde acaba el período bajo análisis.

Utilizando las bases de datos de equipos de la universidad, se procede a realizar un análisis al interior del consumo eléctrico al igual que en su campus vecino. Se necesita identificar el tipo y número de equipos más representativos de alto consumo eléctrico y determinar una tasa de utilización promedio para cada uno. Dentro de estos equipos se encuentran los aparatos de aire acondicionado, de los cuales se registran alrededor de 130.000 BTU instaladas. Se realiza una aproximación de 10.000 BTU en los equipos declarados que no poseen la especificación técnica y se asume una utilización promedio de 6 horas. El registro de computadores del campus alcanza las 300 unidades y se establece una utilización

promedio de 4 horas al día. La tabla 5.10 muestra como queda la distribución del consumo eléctrico en el Campus Vitacura.

Tabla 5.10: *Campus Vitacura:* Distribución consumo eléctrico en kWh por tipos de equipos para el año 2016.

Equipos	kWh	%
Climatización	354.420	38
Iluminación	326.654	35
Equipos Computación	173.250	19
Otros	81.896	9
Consumo Eléctrico Anual	**936.220**	**100**

(Fuente: Elaboración Propia)

El gráfico de la figura 5.15 plasma los datos de la tabla 5.10.

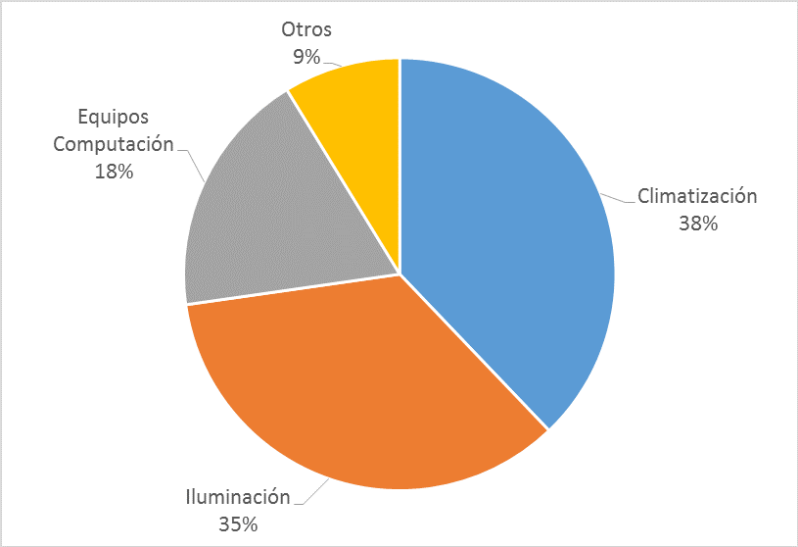


Figura 5.15: *Campus Vitacura:* Distribución consumo eléctrico en kWh para el año 2016.

(Fuente: Elaboración Propia)

Lo anterior nos permite afirmar que prácticamente el 38 % del consumo eléctrico, está asociado a la climatización del campus, seguida muy cerca por la iluminación con un 35 %, lo equipos computacionales con un 18 % y dejando finalmente con un 12 % al resto de aparatos relacionados con máquinas de laboratorio, equipos de refrigeración para el casino,

equipos de asistencia a la educación, etc.

5.3.2.4. Análisis por Área de Consumo

Finalmente, al igual que para el análisis anterior se considera importante realizar un desglose por área de consumo dentro del campus, abarcando todos los tipos de fuente utilizados como se muestra en la figura 5.16.

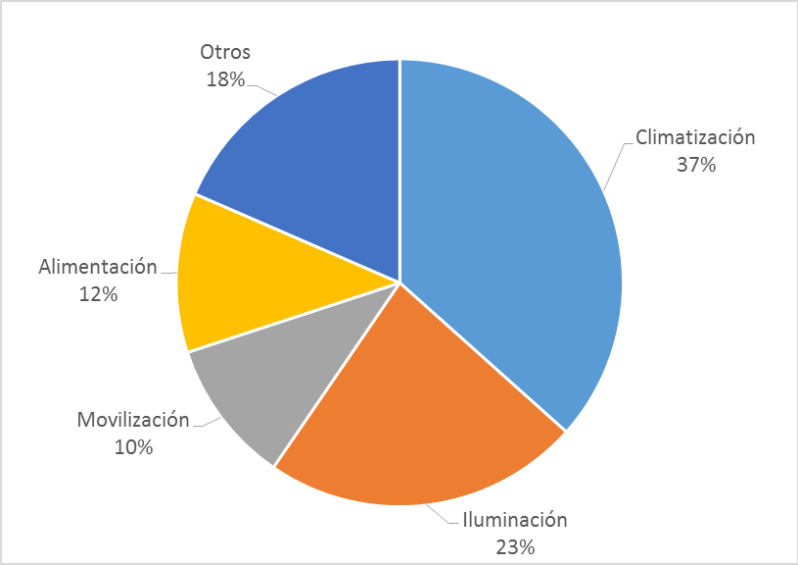


Figura 5.16: *Campus Vitacura:* Distribución consumo total energético en kWh para el año 2016. (Fuente: Elaboración Propia)

Este análisis toma mayor importancia que el realizado en Campus San Joaquín, ya que considerando el total de energía consumida por el campus, por sus cuatro tipos de fuentes, el 37 % del total corresponde a climatización, pero esta se distribuye en dos tipos de fuentes energéticas distintas, electricidad y gas natural.
Que la climatización corresponda a la principal causa del consumo eléctrico, explica el comportamiento estacional que mantuvo la electricidad durante el año, aumentando por primera vez en los meses de pleno invierno y luego en los meses de verano.

Como segundo foco de consumo se encuentra la iluminación con un 23 %, su participación más alta que la del campus San Joaquín se explica ya que el plan de mejoramiento de equipos de iluminación por otros de mayor eficiencia, se desarrolló de manera más tardía que en el campus vecino, continuando aún la remodelación durante el 2017.

En tercera posición se encuentra la movilización, esta área posee una participación considerablemente mayor que en el análisis anterior, esto se debe a que el Campus Vitacura posee dos buses aparte de los 3 medios de transportes comunes que utiliza cada campus, los cuales realizan recorridos de acercamiento para los alumnos y funcionarios de la universidad.

5.3.2.5. Definición de Línea Base de Energía

Los datos compilados del Campus Vitacura y específicamente analizados para periodo calendario de un año. Tal como se explicó en sección anterior, se proyecta el año 2016 usando información de dos años anteriores; esto cumple con la definición de una Línea Base de Energía. Por lo tanto los gráficos y tablas obtenidos del consumo energético para este campus también servirán de punto de comparación frente a una implementación futura de eficiencia o ahorro, la cual debe ser medida en un año.

De acuerdo a resultados obtenidos en consumos energéticos se puede calcular un índice de energía consumida por unidad de área construida. Este valor corresponde a:

$$\frac{kWh}{m^2} = \frac{1422698}{12196} = 116,7\,\frac{kWh}{m^2} \tag{5.2}$$

5.4. Requerimientos de Certificación

5.4.1. Requisitos Campus Sustentable

El primer paso lógico que la universidad debería dar en relación a una certificación por eficiencia energética sería cumplir con el Acuerdo de Producción Limpia (APL) firmado en el año 2012, el cual posee una serie de recomendaciones y lineamientos que permiten alcanzar el reconocimiento de Campus Sustentable. El Acuerdo involucra un temario más extenso que solo un uso eficiente energía, también involucra aspectos de eficiencia en manejo de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, uso de agua y un plan establecido de emergencia entre otros puntos (Consejo Nacional de Producción Limpia, 2012). Además este documento posee una lista de objetivos especificos que la universidad debería cumplir,

entre los que destacan por su relación con eficiencia energética están:

- Medir y actualizar anualmente la huella de carbono corporativa de cada institución de educación superior, definiendo además su compromiso de reducción.
- Reducir el consumo de energía equivalente en el total de las instalaciones adheridas.

Al momento de la realización de este estudio la universidad demuestra iniciativas para reducir el consumo de energía en sus instalaciones, con medidas como la renovación de iluminarias por otras de bajo consumo. Sin embargo la medición y actualización de huella de carbono corporativa es un punto no manejado y que necesita una política de implementación. Es por esto que se recomienda la revisión del APL en su totalidad, para su posterior aplicación y así poder unirse a las catorce instituciones que fueron reconocidas en 2017 por su calidad de Campus Sustentable.

5.4.2. Requisitos mínimos para el Sello de EE

A continuación se presentan los requisitos generales para la postulación de los diferentes tipos de Sellos de EE entregados por el Ministerio de Energía de Chile Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2017):

Sello EE Gold:

- Contar con una carta de compromiso firmada por los respectivos representantes legales de la empresa postulante, donde se explicite la intención de la institución a postular al Sello EE.
- Haber desarrollado al menos dos iniciativas exitosas de EE, en términos de efectividad al producir los ahorros proyectados, estas medidas de EE deben estar emplazadas en cada sucursal o sub beneficiario que se postule y debe tener una antigüedad no mayor a 24 meses contados desde la fecha de postulación.
- Contar con una certificación ISO 50.001 vigente.
- Presentar carta firmada por el representante legal que indique que la empresa postulante declara sus consumos energéticos al Balance Nacional de Energía. En caso de

no realizarlo, presentar carta al Ministerio de Energía solicitando ser incorporado en dicho reporte.

Sello EE Silver:

- Contar con una carta de compromiso firmada por los respectivos representantes legales de la empresa postulante, donde se explicite la intención de la institución a postular al Sello EE.
- Haber desarrollado al menos una iniciativa exitosa de EE, en términos de efectividad al producir los ahorros proyectados, esta medida de EE debe estar emplazada en cada sucursal o sub beneficiario que se postule y debe tener una antigüedad no mayor a 24 meses contados desde la postulación.
- Contar con documento de validación del Sistema de Gestión de Energía, debidamente firmado por un profesional o empresa.
- Presentar carta firmada por el representante legal que indique que la empresa postulante declara sus consumos energéticos al Balance Nacional de Energía. En caso de no realizarlo, presentar carta al Ministerio de Energía solicitando ser incorporado en dicho reporte.

Sello EE Bronze:

- Contar con una carta de compromiso firmada por los respectivos representantes legales de la empresa postulante, donde se explicite la intención de la institución a postular al Sello EE.
- Haber desarrollado al menos una iniciativa exitosa de EE, en términos de efectividad al producir los ahorros proyectados, esta medida de EE debe estar emplazada en cada sucursal o sub beneficiario que se postule y debe tener una antigüedad no mayor a 24 meses contados desde la postulación.
- Presentar carta firmada por el representante legal que indique que la empresa postulante declara sus consumos energéticos al Balance Nacional de Energía. En caso

de no realizarlo, presentar carta al Ministerio de Energía con la solicitud para ser incorporado en dicho reporte.

- Tener un consumo energético menor a 10 Tcal/año.

La universidad actualmente no cuenta con ninguna acreditación por eficiencia energética, pot lo que podría optar en primera instancia a un Sello EE Bronze, considerando que cumple con el requerimiento técnico de un consumo energético menor a 10 Tcal/año, que podría haber generado una barrera desde el comienzo, ya que la equivalencia de consumo energético de ambos campus Santiago alcanza los 3,3 Tcal/año, no teniendo inconvenientes.

Respecto a la implementación de una mejora exitosa de EE, desde este punto adelante es posible medir los beneficios futuros gracias a la linea base presentada en este estudio. Por lo que la iniciativa debe tomarla ahora la universidad.

Los otros puntos de los requisitos generales para la obtención del sello tienen más que ver con una disposición a la implementación de una gestión energética de los campus que con requisitos técnicos, por lo que la voluntad de los representantes de ambos campus es clave.

6 | Propuestas

6.1. Inversión Infraestructura

Realizar una investigación detallada de la factibilidad de implementación de ERNC en los campus, enfocada en la cotización de paneles solares debido a las condiciones territoriales y por factibilidad de los equipos que se necesitan y el espacio que estos ocupan. Esto se debe a que las otras tres tipos de ERNC mencionadas en el Marco Teórico tienen dificultades para su instalación como se explica a continuación:

6.1.1. Baja Factibilidad

Respecto a la energía eólica, se necesita como mínimo una velocidad promedio en la zona de la instalación de 3,5 m/s para el giro de las palas (ref 1). En las figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 se muestran los mapas eólicos e información correspondiente a las localizaciones exactas de los campus:

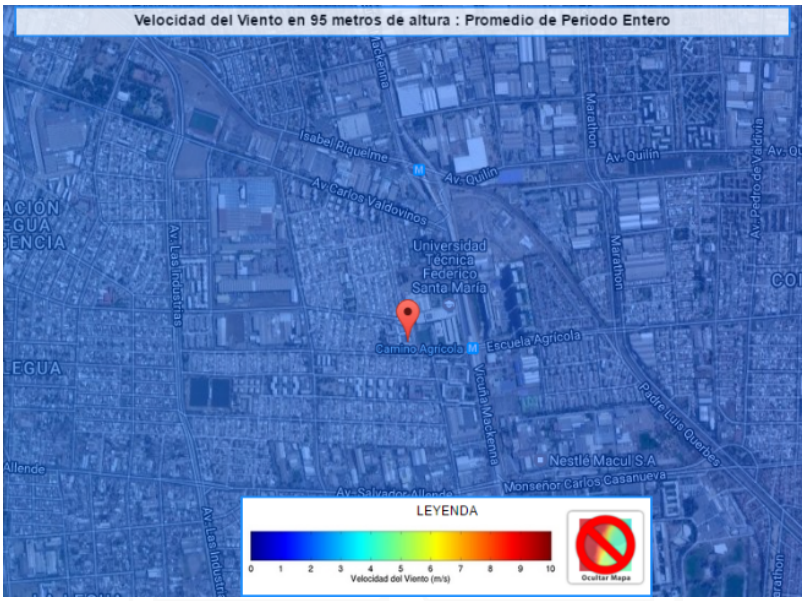


Figura 6.1: Mapa eólico ubicación Campus San Joaquín.

(Fuente: Explorador Eólico Universidad de Chile 2017)

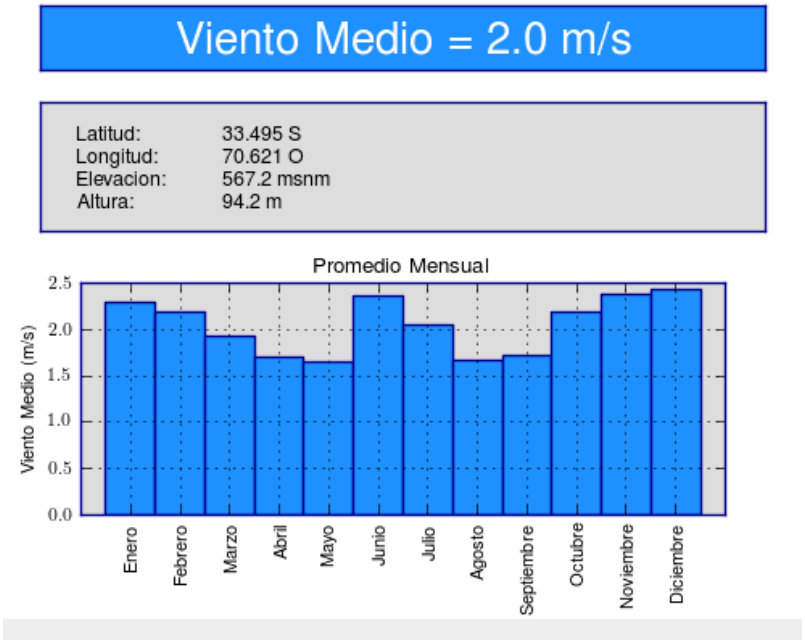


Figura 6.2: Información sobre el recurso eólico en Campus San Joaquín.

(Fuente: Explorador Eólico Universidad de Chile 2017)

Figura 6.3: Mapa eólico ubicación Campus Vitacura.

(Fuente: Explorador Eólico Universidad de Chile 2017)

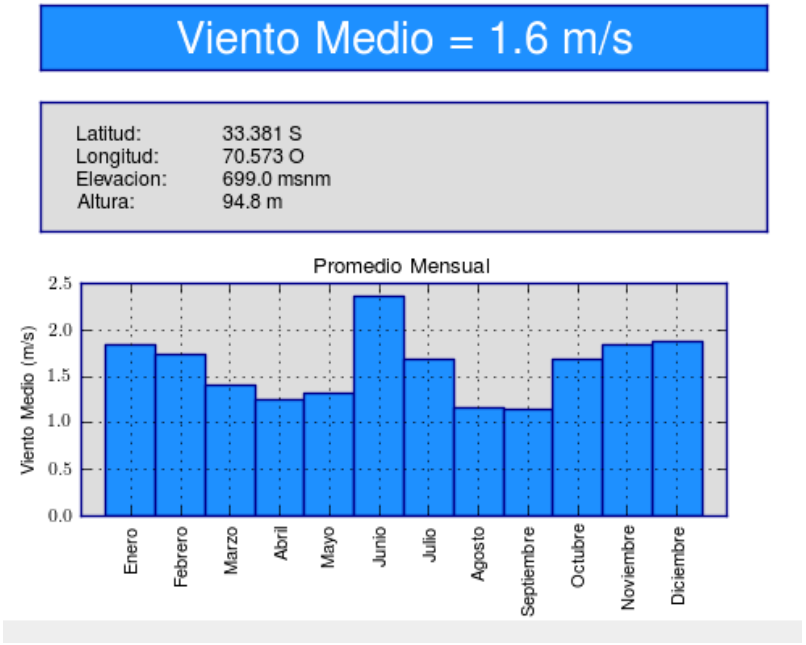


Figura 6.4: Información sobre el recurso eólico en Campus Vitacura.

(Fuente: Explorador Eólico Universidad de Chile 2017)

Como puede observarse respecto a los datos expuestos, no es factible realizar instalaciones del tipo eólica para la generación de energía eléctrica en ninguno de los dos campus.

Respecto a la Biomasa, como se explica anteriormente es necesaria la instalación de equipos que requieren un espacio físico además del volumen que utiliza el almacenamiento del propio combustible. Por otro lado, la universidad no genera biomasa como para un fin de generación energético, por lo que esta tendría que transportarse probablemente desde fuera de la región, lo que contradice la idea de reducir la huella de carbono mediante la implementación de ERNC, razón por la cual la energía mediante biomasa es más conveniente para industrias que generan su propio combustible.

Respecto a la geotermia, las instalaciones para generación eléctrica no aplican para una universidad, entre algunas razones se encuentran:

- Altos costos relativos a investigación.
- Altos costos relativos a exploración.
- Dimensiones del terreno inapropiadas.

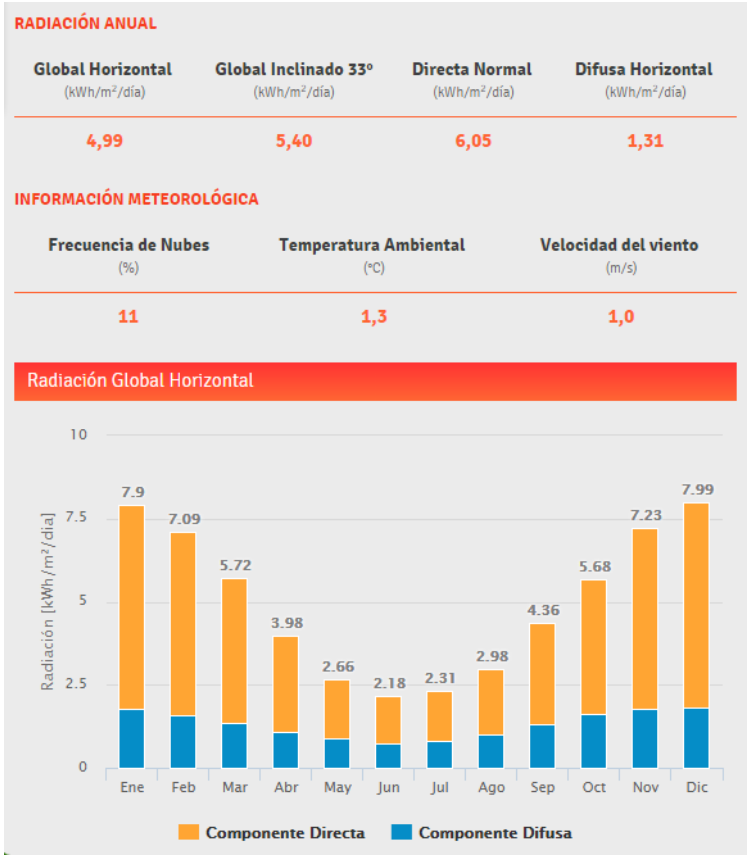
Por otra parte los sistemas de calefacción mediante geotermia necesitarían numerosas perforaciones para cubrir una demanda que haga relevante su implementación y aporte a la matriz energética de la universidad. Además se debe considerar que por ubicación geográfica las comunas de San Joaquín y Vitacura no poseen características propias para la explotación geotérmica.

6.1.2. Alta Factibilidad

Por otra parte, la energía solar si tiene potencial para ser aprovechada para la generación eléctrica de los campus, debido a que los techos proveen un área para la instalación de paneles.
Actualmente la universidad está en proceso de evaluación de este proyecto. Como referencia se entrega la información técnica en las figuras 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 relativa a la radiación solar presente en ambos campus Santiago.

Figura 6.5: Mapa radiación solar ubicación Campus San Joaquín.

(Fuente: Explorador Solar Universidad de Chile 2017)



RADIACIÓN ANUAL

Global Horizontal (kWh/m²/día)	Global Inclinado 33° (kWh/m²/día)	Directa Normal (kWh/m²/día)	Difusa Horizontal (kWh/m²/día)
4,99	5,40	6,05	1,31

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Frecuencia de Nubes (%)	Temperatura Ambiental (°C)	Velocidad del viento (m/s)
11	1,3	1,0

Figura 6.6: Información sobre el recurso solar en Campus San Joaquín.

(Fuente: Explorador Solar Universidad de Chile 2017)

Figura 6.7: Mapa radiación solar ubicación Campus Vitacura.

(Fuente: Explorador Solar Universidad de Chile 2017)

Figura 6.8: Información sobre el recurso solar en Campus Vitacura.

(Fuente: Explorador Solar Universidad de Chile 2017)

6.2. Capacitación del Activo Docente y Administrativo

Desarrollar un programa de capacitación para todo el personal de planta, tanto para funcionarios como profesores, enfocado en el uso eficiente de la energía, principalmente relacionados con la climatización e iluminación de las instalaciones, los dos factores más relevantes de consumo en ambos campus según lo demostrado en este estudio.

Frente a esta propuesta se hace un evaluación de proyecto que considera lo siguiente:

- Capacitar a todo el personal de planta de los campus.
- Cursos compuestos por 20 personas.
- Programa de capacitación de una hora cronológica.
- Costo de las capacitaciones que abarca honorarios del relator y ayudante, además de coffe de bienvenida.

Para el cálculo de la inversión y el retorno de este proyecto se estimó:

- Una tasa de adopción general del 40 %, valor estimado de las personas que realizarán una aplicación efectiva del conocimiento adquirido en la capacitación. Este valor castiga el ahorro proyectado. Porcentaje asignado en relación a referencia de la tesis "(Fritz, 2017)"
- Una tasa de adopción del 75 % para la persona que sea designada como Encargado de Energía del Campus (Solo Campus Vitacura)
- Un porcentaje de ahorro del 20 % en el costo de energía por concepto de climatización, lo anterior, según estudio publicado por el Gobierno Español referido al ahorro obtenido por un control eficiente de la temperatura en salas y oficinas (España, 2008).
- Un horizonte de planificación proyectado a un año.
- Una tasa de descuento del 6 %, referencia obtenida de una evaluación de capacitación similar, enunciada en la tesis nombrada anteriormente.

La tabla 6.1 resume los supuestos considerados para este proyecto.

Tabla 6.1: Datos estimados para evaluación de proyecto

Costo Relator	**$ 40.010**
Costo Ayudante	**$ 13.337**
Costo Coffee Bienvenida	**$ 20.000**
Tasa de Adopción	**40 %**
Tasa de Adopción Encargado Energía	**75 %**

(Fuente: Elaboración Propia)

6.2.1. Evaluación capacitación Campus San Joaquín

Las tablas 6.2, 6.3, y 6.4 muestran de manera resumida la evaluación económica para el Campus San Joaquín.

Tabla 6.2: Cálculo de ahorro Campus San Joaquín

Costo Climatización	**$ 52.490.674**
% Ahorro estimado	**20 %**
$ Ahorro Total Estimado	**$ 4.199.254**

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 6.3: Cálculo inversión capacitación Campus San Joaquín

N° Profesores Planta	**100**
N° Funcionarios	**200**
N° Personas por Capacitación	**20**
N° Capacitaciones	**15**
Costo Capacitación	**$ 1.100.190**

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 6.4: Parámetros de evaluación de proyecto Campus San Joaquín

Tasa de Descuento	**6 %**
Horizonte Planificación	**1 año**
VAN	**$ 1.729.843**
TIR	**31 %**

(Fuente: Elaboración Propia)

6.2.2. Evaluación capacitación Campus Vitacura

Las tablas 6.5, 6.6, y 6.7 muestran de manera resumida la evaluación económica para el Campus Vitacura.

Tabla 6.5: Cálculo de ahorro Campus Vitacura

Costo Climatización Eléctrica	**$ 20.019.678**
% Ahorro estimado	**20 %**
$ Ahorro estimado	**$ 1.601.574**
Costo Climatización GNL	**$ 7.036.982**
% Ahorro estimado	**10 %**
$ Ahorro estimado	**$ 527.774**
$ Ahorro Total Estimado	**$ 2.129.348**

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 6.6: Cálculo inversión capacitación Campus Vitacura

N° Profesores Planta	**50**
N° Funcionarios	**91**
N° Personas por Capacitación	**20**
N° Capacitaciones	**8**
Costo Capacitación	**$ 586.768**

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 6.7: Parámetros de evaluación de proyecto Campus Vitacura

Tasa de Descuento	**6 %**
Horizonte Planificación	**1 año**
VAN	**$ 808.184**
TIR	**25 %**

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo a los valores obtenidos en ambas evaluaciones, se determina que la inversión en capacitación para el manejo de energía eficiente es rentable para los campus Santiago, siendo un proyecto de alto impacto y fácil implementación (Quick Win). Adicionalmente se debe considerar un segundo beneficio de esta implementación en los años posteriores, ya que solo se capacitará a funcionarios y docentes nuevos; para esto se recomienda incluir este entrenamiento en la inducción de entrada al establecimiento, generando ahorro por este concepto, pues los futuros relatores del curso serán docentes de planta capacitados de primera fuente.

6.3. Beneficios por Meta Cumplida

Se propone desarrollar en el corto plazo un plan de incentivos diferenciado para cada población de interés dentro de la institución, donde se definan metas de ahorro energético, las cuales se traduzcan en estímulos de beneficio directo. Por ejemplo en el caso de los docentes, posterior a recibir la capacitación se plantea definir una meta referida a un porcentaje de ahorro de energía eléctrica, la cual en caso de cumplir se traducirá en fondos para proyectos de investigación adicionales a los que existan por presupuesto anual.
Para el cuerpo administrativo se suguiere incorporar metas específicas referidas al consumo energético en sus evaluaciones de desempeño anual.

Este plan de incentivos se focaliza en docentes y administrativos, precisamente porque estas poblaciones son las que tienen intervención directa sobre los controles de consumo

energético, en acciones como, encendido de luces en salas y oficinas, control de climatización, uso de equipos computacionales, entre otros.

6.4. Difusión en la Comunidad Estudiantil

Resulta primordial en una casa de estudio con el prestigio de la Universidad Técnica Federico Santa María, que la comunidad estudiantil se sienta parte y actor principal en la implementación y ejecución de un plan de Gestión Energética.
Es por tal motivo que el paso inicial debe ser realizar una campaña de difusión masiva de alto impacto al alumnado, que logre concientizar la importancia de la eficiencia energética y apoyar las tareas y compromisos que la universidad ha adquirido. Esta tarea deberán desarrollarla y potenciarla cada uno de los docentes y administrativos que hayan recibido la capacitación definida en el punto anterior.

Los alumnos que se sientan más identificados con este aspecto podrán ser partícipe de futuras mesas de trabajo y proyectos, podrían obtener ponderaciones a sus prioridades académicas tal cual se hace con las ramas deportivas en la actualidad.
Adicionalmente y enlazado con el plan de incentivo docente, los alumnos pueden verse beneficiados con la asignación de fondos para proyectos de investigación donde participen directamente.

6.5. Designación Encargado de Energía

Si el objetivo de la universidad es llegar a ser referente y eventualmente sumarse a la lista de “Campus Sustentables” en Chile, es de vital importancia que designe a un Encargado de Energía para cada campus, que lleve el control de los consumos y se encargue de la correcta implementación de medidas para la gestión de energía de la universidad. La sugerencia en este caso es que sea la misma persona que ocupa el puesto de Encargado de Mantención e Infraestrucutura de cada campus y se le incorpore dentro de sus responsabilidades la función de Encargado de Energía, quedando claramente establecido en la descripción del

cargo.

Es importante dar realce a esta designación para que la persona nombrada se le considere actor clave y a la vez líder al interior del Plan de Gestión Energético que quiera implementar la universidad.

6.6. Recomendaciones Generales

1. Desarrollar herramienta de control que posea toda la información relativa a los consumos y gastos energéticos, con la característica de ser un archivo compartido entre ambos campus Santiago, de fácil acceso para el usuario, que además sirva para realizar benchmarking y estimule las mejores prácticas entre los campus.

2. Instalar medidores eléctricos por edificio, de manera que se puedan diferenciar los consumos, y de esta forma identificar las áreas que efectivamente tienen mayor gasto energético y así poder implementar mejoras específicas con la posibilidad de comparar con periodos anteriores.

3. Solicitar unirse al reporte de consumos energéticos para la elaboración del Balance Nacional de Energía, como etapa inicial para la certificación de un Sello de Eficiencia Energética.

4. Definir una medición periódica fija de todos los consumos energéticos de ambos campus, para poder realizar una comparación con la línea base obtenida en este estudio y así gestionar mejoras conducentes a un plan de eficiencia energética.

5. Revisar el estatus del total de equipos eléctricos, dando prioridad al Campus Vitacura por la obsolescencia que presentan sus aparatos, considerando la probabilidad de la ineficiencia en su funcionamiento si no han sido reemplazados desde la creación del campus.

7 | Interferencias y Desviaciones

7.1. Durante el estudio

7.1.1. Dificultad recopilación de datos

La recopilación de datos se puede considerar el principal factor de dificultad. La universidad actualmente no cuenta con un sistema establecido para el almacenamiento de datos respecto a los consumos energéticos. Estos consumos son tratados como el resto de gastos del departamento de finanzas, por lo que fue necesaria la recolección individual de todos los gastos por su tipo de fuente, de los cuales algunos no se encontraban en formato digital y tuvieron que traspasarse directamente desde boletas de los proveedores a planillas para su análisis.

La información la poseían distintos encargados del Campus, sin que una persona en concreto se hiciera cargo de su almacenamiento y tabulación o que existiera una plataforma común a la cual acudir para consultar los datos de consumo.

7.1.2. Diferencias en los consumos

Otro problema fue la estimación de consumos del gasto eléctrico en el Campus Vitacura, en donde se descompusieron por más de un año los medidores, por lo que no existe un registro real de electricidad consumida durante el año 2016, debiendo tomar un periodo anterior, parte del 2014 y 2015, para realizar el análisis. Este punto no permite lograr un estudio óptimo, debido a que se han producido modificaciones en el campus y los consumos no necesariamente se replican en periodos anteriores. Sin embargo el campus

no ha realizado modificaciones de infraestructura considerables en los últimos años, como lo que podría significar la construcción de un edificio nuevo. El estudio del campus San Joaquín se vuelve una buena referencia en este caso, en donde sí se disponía de la información de 3 años de consumos eléctricos, pudiendo comprobar que los consumos tienen un comportamiento similar del mismo mes comparado con el año anterior, por lo que el análisis eléctrico del Campus Vitacura, a pesar de tener un desviación, es una buena estimación y permite realizar el análisis sin temor a arrojar resultados que hagan tomar decisiones equivocadas respecto a la gestión energética.

Por otra parte se presentó un problema durante el análisis de los consumos de combustible de ambos campus, en donde se utilizó el presupuesto anual destinado a los medios de transporte, que considera un gasto cada 2 meses aproximadamente y no el consumo real de cada mes, lo que no permite identificar máquinas que poseen un mayor consumo. Esperando que el presupuesto anual de combustible no esté alejado de la realidad del consumo, este sesgo no implica cambios en las conclusiones del trabajo, pero si se recomienda llevar un control real de los consumos por máquina mes a mes.

7.2. Dificultades Proyectadas

7.2.1. Falta de una política

Una de las falencias más grandes que posee la universidad y que puede afectar a todas las medidas que la institución quiera aplicar en un futuro, es la carencia de una Política Energética, la cual entregue los lineamientos propios de la universidad. La definición de la política es fundamental para establecer los límites de los planes de acción, considerando que los planes son elementos dinámicos que deben adaptarse continuamente según el contexto que se esté viviendo.

7.2.2. Resistencia al cambio

Independiente de las medidas que la universidad decida tomar respecto a su gestión energética, esta involucrará directamente a las personas que componen la institución. Esto

provocara diferentes tipos de cambios, como por ejemplo en la cultura organizacional y cambios en las actividades y comportamientos de las personas, lo que habitualmente termina provocando mayor sentimiento de resistencia que de adhesión, lo cual se explica por los siguientes motivos:

- Miedo a que los resultados puedan perjudicarlos, ya que el plan es elaborado por la dirección y estos tienen intereses distintos, pudiendo provocar la eliminación de beneficios o un factor más del cual preocuparse.
- Sentir que las medidas no los representan, ya que estas son diseñadas por un grupo reducido de personas.
- Los objetivos de la organización pueden no coincidir con sus objetivos personales, ya que el personal puede trabajar ahí y el alumnado estudiar, pero no implica que quieran velar por el bienestar de la organización, sintiendo más la presión que los beneficios.
- Aceptar que su comportamiento anterior no está en línea con las mejores prácticas, lo que en muchos casos puede plantearse más como una crítica en vez de una posibilidad de mejora.

Es por estos motivos que la organización debe preocuparse y ser criteriosa en el mensaje que desea transmitir al resto de los participantes, evitando así situaciones que provoquen la resistencia al cambio que se propone.

8 | Conclusiones

En este estudio se efectuó un diagnóstico energético detallado de ambos campus Santiago de la UTFSM. Se logró reunir y ordenar la data para generar las líneas base de consumo de energía de las instalaciones.

Toma especial relevancia contar con información ordenada y detallada. Por ello una de las primeras recomendaciones es llevar la data de manera simple y al día, para poder programar a partir de ahora en adelante auditorias periódicas que vayan en línea con el plan de gestión energética que decida implementar la universidad.

Destaca que un 65 % y 89 % de la energía usada en los campus Vitacura y San Joaquín respectivamente, correspondan a electricidad, y que un 76,7 % y un 91,2 % de la huella de carbono total de cada campus, esté asociada a esta fuente energética. Es por este motivo que ciertas medidas apuntan específicamente al ahorro y buen manejo de este tipo de energía.

La climatización es el área que se lleva el mayor porcentaje de consumo, considerando incluso las distintas fuentes de energía aparte de la eléctrica, por esto es importante que medidas como control de temperatura en las salas, oficinas y dependencias sean enseñadas a sus usuarios. Acciones como mantener puertas cerradas o temperaturas medias, hacen ahorrar energía sin ir en desmedro de la comodidad de los usuarios, la cual es muy relevante pues se requiere de espacios cómodos para estimular el aprendizaje.

Sorprende que los resultados de la línea base arrojen que el consumo del Campus San Joaquín sea de 53,1 kWh/m^2, mientras que el del Campus Vitacura sea 116,7 kWh/m^2. Esto puede deberse principalmente a lo obsoleto de los equipos del Campus Vitacura, además que el Campus San Joaquín podría considerarse relativamente nuevo con su apertura en el año 2009 y su ampliación en 2015, lo cual explicaría la mayor eficiencia de sus instalaciones. De todas formas se suguiere revisar los equipos del Campus Vitacura con el objetivo de

reemplazarlos por otros de mayor eficiencia.

Se recomienda a la Institución considerar la posibilidad de desarrollar proyectos enfocados al desarrollo de eficiencia energética. Por un lado la inversión de infraestructura para un programa de implementación de ERNC enfocada en la instalación de energía solar, debido a que las condiciones geográficas permitiría un aprovechamiento de este potencial, y por otra parte un proyecto de capacitaciones en uso eficiente de energía para todos los niveles de la institución, principalmente al personal docente y administrativo, evaluación que durante el estudio ha demostrado ser un proyecto de alto impacto y fácil implementación con una TIR del 25 % y 31 % para los Campus Vitacura y San Joaquín respectivamente. De todas formas se sugiere una propuesta mixta, ya que estaría alineada a las sugerencias del gobierno y la postura a nivel mundial respecto a eficiencia energética, ayudando a reducir el consumo y huella de carbono de los campus. La universidad debe tomar una decisión respecto a cual rama desea optar, considerando su visión y recursos que esté dispuesta a destinar.

Sin embargo, independiente de los resultados arrojados por este estudio y que haya definido directrices respecto a lo que se debe tener mayor cuidado y atención, es de vital importancia que la universidad tome ciertas medidas previas para dar inicio a una política energética, como lo es designar a un encargado de energía de los dos campus, cuya función sea recopilar y administrar la información de los consumos energéticos, fijando las mediciones en periodos determinados de tiempo y registrándolas a través de un sistema integrado de ambas instalaciones que permita acceder a dicha información a las entidades interesadas, generando reportes para facilitar la toma de decisiones. Se recomienda para la utilización de este cargo a los Encargados de Infraestructura y Mantenimiento de cada campus, que durante la realización de este estudio demostraron alto interés y buena disposición, además estas personas ya desarrollan trabajos por cuenta propia relacionados con recopilación de información de consumos energéticos, por lo que sería necesario actualizar sus descripciones de cargo, para que por un lado se considere en sus evaluaciones de desempeño anual y por otro lado se les de el liderazgo, autoridad y reconocimiento que merecen.

Finalmente, considerando las recomendaciones planteadas se pueden generar y conocer las variaciones de consumo, ya que se cuenta con una línea base de cada campus, lo cual correspondería al paso más importante para la futura obtención de una certificación

energética, siendo una de las alternativas más apropiadas en primera instancia la de “Campus Sustentable”, para lo cual se debe dar cumplimiento al APL firmado en el año 2012 por la universidad y ya en segundo lugar el Sello de EE Bronze, otorgado por el Ministerio de Energía, puesto que la universidad está iniciándose en materia de sustentabilidad, siendo estas metas importantes y alcanzables en el corto plazo, dando pie a una universidad consiente de su entorno y de su rol formador de nuevos profesionales, generando proyectos de mayor envergadura y ratificando su liderazgo en ciencia y tecnología.

Bibliografía

AChEE, Agencia Chilena de Eficiencia Energetica (2012). Eficiencia Energetica. 3.3

AChEE, Agencia Chilena de Eficiencia Energetica (2017). Capacidades Caloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de Unidades. (pp. 2–5). 5.3.1.1, 5.3.2.1

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2013). Medición y Verificación. 3.3

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2014). *Bases que establecen los requisitos y procedimientos para la realización de selección, asignación y entrega del Sello de Eficiencia Energética*. Technical report. 1, 3.5

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2016). Eficiencia Energética. 3.2.2

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2017). Bases postulacón Sello EE. 5.4.2

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2009). Historia de la Ley modificaciones al D . L . N ° Téngase presente. 2.2.1

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2017). Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago. (pp. http://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.). 5.2.2

Consejo Nacional de Producción Limpia (2012). Acuerdo de Producción Limpia. 2.2.2, 5.4.1

Efficiency Valuation Organization (EVO) (2010). Protocolo Internacional de Medida y Verificación. 2010.

Energía Abierta (2017). Capacidad Instalada Chile. (pp. http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad). 2.2.1, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4

Energías, Las; No, Renovables; y Ernc, Convencionales (2016). Todo el mundo habla de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). ¿Qué son? ¿Cuáles se usan en Chile? ¿Qué ventajas tienen? ¿Por qué experimentan un crecimiento tan notable en nuestro país? ¿Qué papel juega la Eficiencia Energética? 3.2

España, WWF (2008). GUÍA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN OFICINAS. 6.2

Fritz, Mario Fellipe Urzúa (2017). DEFINICIÓN DE UNA CARTERA DE PROYECTOS EN MATERIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR PÚBLICO PARA LA ESTRATEGIA ENERGÉTICA DE VILLA ALEMANA. 6.2

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007). *Energía de la biomasa*. Madrid. 3.2.3

ISO (2011). Norma ISO 50001.pdf. 3.4, 3.7, 4

Jara, Wilfredo (2006). *Introducción a las Energías Renovables No Convencionales*. 3.2.1, 3.2.1, 3.2.2

Ministerio de Energía (2015). Guía metodológica para el desarrollo de estratégias energéticas locales.

Ministerio de Energía (2016). Energía. 3.1.1, 3.2

Organización Internacional para la Normalización (ISO) (2011). Introducción a ISO 50001. 1

Oxford, Dictionaries (2011). Definición energía. 3.1

Revista Certificación & Negocios (2017). Catorce universidades más sustentables de Chile. (pp. http://www.revistacertificacion.cl/estas–son–las–1). 2.2.2

Revista Enegética de Chile Electricidad (2016). Proyectos ERNC en Operación. 3.2

UTFSM (2017). Historia UTFSM. (pp. http://www.usm.cl/universidad/historia/). 2.1

Wang, Huilong; Xu, Peng; Lu, Xing; y Yuan, Dengkuo (2016). Methodology of comprehensive building energy performance diagnosis for large commercial buildings at multiple levels. *Applied Energy*, 169, 14–27. 3.3