



INVENTARIO Y ESCENARIOS DE GASES EFECTO INVERNADERO ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA EN CIUDAD UNIVERSITARIA

Informe final que presenta el Instituto de Ingeniería

al

Programa Universitario del Medio Ambiente

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Claudia Sheinbaum Pardo
Héctor Juárez Mondragón
Sonia Briceño Vilorio

Facultad de Ingeniería

Azucena Escobedo Izquierdo
Silvina Alonso Salinas
Augusto Sánchez Cifuentes

Estudiantes Instituto de Ingeniería

Daniel Castillo Guevara
María Elena Huesca Pérez
Suriel Islas Martínez
Edgar Peña Rodríguez
Mariana Eloisa Ramírez Suárez

Diciembre 2011

Participantes en el Proyecto

Instituto de Ingeniería

Académicos y personal por honorarios

Claudia Sheinbaum Pardo

Héctor Juárez Mondragón

Sonia Briceño Vilorio

Felipe Muñoz Gutiérrez

Fernando Rivera Hernandez

Estudiantes

María Elena Huesca Pérez

Mariana Eloisa Ramírez Suárez

Daniel Castillo Guevara

Edgar Peña Rodríguez

Suriel Islas Martínez

Nathalia María Torres Morales

Facultad de Ingeniería

Augusto Sánchez Cifuentes

Azucena Escobedo Izquierdo

Silvina Alonso Salinas

Programa Universitario de Medio Ambiente

Mireya Imaz Gispert

Luis Gutiérrez Padilla

Francisco José Reynoso Arreola

Martín Aaron Morales Olea

Giovanni Fonseca Fonseca

Dirección General de Obras y Conservación

Jesús Antonio Esteva Medina

Mario Ugalde Salas

Agradecimientos:

Instituto de Ingeniería

Roberto Durán Hernández

Mesa Vibradora

Efraín Ovando Shelley

Francisco Armando Rangel Ordoñez

Laboratorio de Vías Terrestres

Leonor Patricia Güereca Hernández

Ingeniería Ambiental

Facultad de Medicina

Graciela Zúñiga González

Secretaría Administrativa

Café Azul y Oro

Tila Muñoz Zurita

Gerente General

Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM (AAPAUNAM)

Bertha Rodríguez Sámano

Secretaria General

C.D.E.E. Salvador Del Toro Medrano

Secretario de Organización

Contenido

1. Introducción.....	6
1.1. Antecedentes de programas de administración sustentable de recursos en Campus Universitarios	6
1.2 Objetivos y alcances del Proyecto.....	8
1.3 Antecedentes de estudios y proyectos de ahorro de energía en Ciudad Universitaria.	9
2. Ciudad Universitaria.....	11
2.1 Antecedentes históricos.....	11
2.2 Características generales de Ciudad Universitaria	19
2.2.1 Instalación eléctrica de Ciudad Universitaria.....	21
2.2.2 Facturación eléctrica	22
3. Metodología	27
3.1 Auditorías energéticas	27
3.2 Emisiones	28
3.3 Adquisición y procesamiento de información.....	30
3.3.1 Adquisición de información base para consumos de energía eléctrica	30
3.3.2 Procesamiento de información para consumos de energía eléctrica	33
3.3.3 Gas y diesel	34
3.3.4 Combustibles para transporte.....	34
3.3.5 Escenarios.....	34
4. Resultados	36
4.1 Usos finales de la energía eléctrica.	36
4.1.1. Iluminación.....	36
4.1.2 Refrigeración.....	37
4.1.3 Aire acondicionado y calefacción	38
4.1.4 Equipos de fuerza	40
4.1.5. Equipos de cómputo	41
4.1.6 Equipos misceláneos y especiales	42
4.1.7 Comparación y suma total.....	43
4.2 Combustibles.....	50
4.2.1 Consumo de GLP	50
4.2.2 Consumo de diesel para actividades diferentes al transporte	51
4.3 Inventario de emisiones de GEI	51
4.4 Análisis de incertidumbres.....	54
4.5 Escenarios al 2020.....	55
4.5.1 Escenario base.....	55
4.5.2 Escenarios de mitigación.....	59
5. Conclusiones	65
6. Comentarios y recomendaciones.....	68
Referencias.....	70
Anexos	73
Anexo 1. Tarifa HM:.....	73
Anexo 2. Definición de las tipologías establecidas en este estudio.	76
Anexo 3. Edificaciones y espacios analizados en este estudio.....	77
Anexo 4. Información de transporte universitario.....	79
Anexo 5. Calentamiento solar y bombas de calor para alberca de CU.	80

Tablas

Tabla 2.1 Resumen de superficie construida por función en Ciudad Universitaria	23
Tabla 2.2 Características de la facturación de electricidad para CU abril-septiembre 2011	26
Tabla 3.3 Superficie de construcción de las tipologías para las cuales se realizaron levantamientos y superficie de construcción total reportada por SIPLAFI.....	32
Tabla 4.1 Iluminación en CU por tipología.....	36
Tabla 4.2 Indicadores energéticos – Iluminación-.....	37
Tabla 4.3 Refrigeración en CU por tipología.....	38
Tabla 4.4 Indicadores energéticos –Refrigeración-.....	38
Tabla 4.5 AA en CU por tipología.....	39
Tabla 4.6 Indicadores energéticos –AA-.....	39
Tabla 4.7 Calefacción en CU por tipología.....	40
Tabla 4.8 Indicadores energéticos –Calefacción-.....	40
Tabla 4.9 Equipo de fuerza en CU por tipología.....	40
Tabla 4.10 Indicadores energéticos –Fuerza-.....	41
Tabla 4.11 Equipo de cómputo e indicadores	41
Tabla 4.12 Equipos misceláneos en CU por tipología.....	42
Tabla 4.13 Indicadores energéticos –Equipos misceláneos-.....	42
Tabla 4.14 Equipos especiales en CU por tipología.....	43
Tabla 4.15 Indicadores energéticos –Equipos especiales-.....	43
Tabla 4.16. Comparación con indicadores de otros estudios para edificios escolares (en kWh/m ² /año).....	44
Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU (1).....	45
Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y categoría CU (2).....	46
Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU (3).....	47
Tabla 4.18 Consumos de GLP e indicadores de la muestra	50
Tabla 4.19 Estimación del consumo total de GLP en CU por tipología	50
Tabla 4.20 Consumo de diesel en CU	51
Tabla 4.21 Emisiones de CO ₂ eq. por fuente de energía en CU para 2011	51
Tabla 4.22 Emisiones de CO ₂ por fuente de energía y uso final en CU.....	52
Tabla 4.23 Contribución de emisiones de CO ₂ eq. por tipología y uso final en CU (incluye electricidad GLP y diesel).....	53
Tabla 4.24 Incertidumbres en la información	54
Tabla 4.25 Incertidumbre en las emisiones de gases efecto invernadero.....	54
Tabla 4.26 Crecimiento esperado para CU de acuerdo con Plan Rector.....	55
Tabla 4.27 Superficie construida y proyectada al 2020 por el Plan Rector (m ²)	56
Tabla 4.28 Indicadores energéticos para energía eléctrica por tipología (kWh/m ²).....	57
* Para estas tipologías, que son de menor consumo y de las cuales no se obtuvo información de la muestra, se asume el consumo por superficie de otras tipologías.....	57
Tabla 4.29 Indicadores de GLP y diesel por tipología (MJ/m ²).....	58
Tabla 4.30 Estimación del consumo de energía para escenarios base	58
Tabla 4.31 Estimación del emisiones de CO ₂ eq para escenarios base (MtCO ₂ eq.)	59
Tabla 4.32 Tecnología de iluminación actual y sugerida en el escenario de mitigación	60
Tabla 4.33 Indicadores para consumo de electricidad utilizados en los escenarios de mitigación ..	61
Tabla 4.34 Consumo de energía para los escenarios de mitigación.....	62
Tabla 4.35 Mitigación de CO ₂ eq derivada de cambio de equipos en edificaciones existentes (retrofit) en CU	63
Tabla 4.36 Escenarios base y de mitigación de CO ₂ eq. en CU	64

Figuras

Figura 1.1 Planta Física C.U. 1954	13
Figura 1.2. Planta física C.U. 1970	14
Figura 1.3 Planta Física, C.U. 1980	15
Figura 1.4 Planta Física C.U., 1990	16
Figura 1.5 Planta Física, C.U. 2000	17
Figura 1.6 Planta Física, C.U. 2011	18
Figura 2.1 Superficie construida por uso.....	19
Figura 2.2. Distribución del consumo de energía eléctrica en diferentes campus de la UNAM.....	22
Figura 2.3 Consumo mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011.	24
Figura 2.4 Demanda mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011	25
Figura 3.1 Crecimiento esperado para CU	35
Figura 4.1 Consumo de electricidad por usos finales CU	48
Figura 4.2 Consumo de electricidad en CU por tipología de espacios.....	49

1. Introducción

Este informe presenta los resultados del estudio “Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Ciudad Universitaria (CU) asociadas al consumo de energía”. Dicho estudio tuvo como objetivo principal estimar el consumo de energía eléctrica y de combustibles que se utilizan en CU para diversas actividades, así como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivadas de ese consumo. Para el caso de la energía eléctrica, se realizó un levantamiento de información de equipos y usos a través de una auditoría energética de primer nivel, en una muestra de 197 edificios e instalaciones de CU. Para el caso del gas licuado de petróleo (GLP) y el diesel, se tuvo acceso a las facturas para diversas dependencias. Las emisiones de GEI se calcularon con base en la metodología del IPCC (2006a) y la aprobada por CONUEE (2009) para energía eléctrica.

De acuerdo con el Plan Maestro para CU, se evaluó también un escenario de crecimiento de las emisiones al 2020 y se propusieron diferentes medidas de mitigación de GEI que además, permitirán reducir la facturación de energía eléctrica.

El estudio se enmarca dentro del proyecto *EcoPuma* del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), cuyo objetivo es reducir el impacto ambiental de las actividades de la operación universitaria, basado en esquemas de administración ambiental para campus sustentables a nivel nacional e internacional.

El trabajo de investigación fue desarrollado por un equipo interdisciplinario en el que participaron estudiantes de licenciatura y maestría de las Facultades de Economía, Ingeniería y Arquitectura, académicos del Instituto de Ingeniería, profesores de la Facultad de Ingeniería y personal de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC) y del propio PUMA.

Gracias al trabajo previo desarrollado por el Programa de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería, a cargo del M. en I. Augusto Sánchez, del trabajo doctoral de Azucena Escobedo, de diversos proyectos del PUMA y de la información y experiencia brindada por la Dirección General de Obras y Conservación a cargo del Ing. Francisco De Pablo, y su área de planeación a cargo del M. en I. Jesús Esteva, el proyecto pudo desarrollarse con mayor amplitud y conocimiento.

1.1. Antecedentes de programas de administración sustentable de recursos en Campus Universitarios

Desde sus inicios, el tema del desarrollo sustentable tuvo repercusiones en las instituciones de educación superior, tanto en la formación e investigación, como en la práctica del manejo de los recursos.

Algunos autores identifican el inicio de la incorporación del tema del desarrollo sustentable en las universidades en 1989 con la publicación del libro *In Our Backyard: Environmental Issues at UCLA, Proposals for Change, and the Institution's Potential as a Model*,¹ que planteó la importancia y necesidad de una política ambiental institucional (Conde, et al 2006).

Dos años antes de la cumbre de Río, en octubre de 1990, 22 rectores, vicerrectores y presidentes de universidades de diferentes regiones del mundo, constituidos como la Asociación de Líderes Universitarios para un Futuro Sustentable (ULSF por sus siglas en inglés) firmaron la Declaración de Talloires² (firmada en Talloires, Francia). Este documento reconoce que las universidades tienen un rol en la educación, investigación, formación de políticas y necesidades de intercambio de información para atender “los cambios ambientales causados por los inequitativos e insostenibles patrones de consumo y producción que agravan la pobreza en muchas regiones del mundo”. Entre otros temas en dicha declaración se promueven los siguientes compromisos y directrices (Barlett y Chase, 2004):

- Educar, investigar, diseñar políticas e intercambiar información sobre población, ambiente y desarrollo.
- Producir capacidades profesionales en administración ambiental, desarrollo económico sustentable, estudios poblacionales y campos relacionados, para asegurar que los egresados sean ciudadanos letrados y responsables en materia ambiental.
- Constituirse en gestores del cambio a través del diseño e implantación de programas de conservación de recursos, reciclamiento y reducción de basura en los campus universitarios.

Desde entonces, más de 300 instituciones de educación superior han expresado su apoyo a estos objetivos. La Declaración fue firmada por varias instituciones educativas en México, entre las que se encuentran la UNAM, los colegios de Jalisco, México, Michoacán, Sonora y Mexiquense, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey y las universidades Juárez del Estado de Durango y Regiomontana.

Esta fue la primera declaración internacional que se enfocó específicamente en la sustentabilidad en la educación superior y el primer texto oficial firmado por universitarios, aunque básicamente directivos. Le seguirían varios más como la declaración de Swansea en 1993, la de Thessaloniki en 1997 y la de Lüneburg en 2001 (Barlett y Chase, 2004).

Desde entonces, más de 600 universidades han manifestado su compromiso con la sustentabilidad firmando acuerdos y convenciones tales como la Carta de Bologna, la

¹ Escrito por Tamara Brink y publicado por la Universidad de California en Los Ángeles.

² http://www.ulsf.org/programs_talloires.html

declaración de Halifax, y la carta Copérnico para el desarrollo sustentable. Esta última firmada por 240 universidades europeas (Leal Fihlo, 2011).

En los años posteriores a la declaración de Talloires, se han desarrollado diversas organizaciones y programas que promueven el desarrollo sustentable en las instituciones educativas. Tony Cortese, uno de los principales autores de la declaración, fundó una asociación denominada “Second Nature” dedicada a promover la sustentabilidad en las instituciones de educación superior. Asimismo, la ULSF en Estados Unidos, bajo la dirección de Rick Cligston ha impulsado el tema. En Alemania, the International Journal of Sustainability in Higher Education, editada por Wakter Leal Filho ha jugado un papel importante (Wright, 2002; Barlett y Chase, 2004; Velázquez et al., 2006).

Para 2002, algunos ejemplos de universidades que habían desarrollado programas ejemplares de mejores prácticas ambientales en sus campus eran la Universidad de Waterloo, la del Sur de Carolina, Buffalo, Toronto y George Washington (Wright, 2002).

En México, diversas universidades han desarrollado esquemas de administración ambiental, tal es el caso de la Universidad Autónoma de San Luís Potosí, la Universidad Veracruzana, la Universidad Autónoma de Morelos, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Universidad Iberoamericana con sede en Puebla (Medellín-Milán, 2007; Nieto-Caraveo, 2007, UV, 2011; Ortiz-Hernandez et al., 2007; Ortiz-Espejel et al, 2007).

La UNAM ha venido desarrollando en la última década diversos programas de administración sustentable de recursos como el Programa de manejo, uso y reuso del agua en la UNAM (*PUMAGUA*) y los programas de uso eficiente de la energía como el Macroproyecto *La Ciudad Universitaria y la energía*. Recientemente, el Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA) integró y potenció estos esfuerzos en un solo esquema: el programa *EcoPuma* (PUMA, 2011).

EcoPuma tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de las actividades de la operación universitaria en los rubros de agua, energía, residuos, consumo responsable, movilidad, áreas verdes, construcción sustentable y administración universitaria e³.

El presente estudio se inscribe en el marco de *EcoPuma*, en el tema de evaluación del consumo de energía y el potencial de reducción de dicho consumo.

1.2 Objetivos y alcances del Proyecto

El principal objetivo del proyecto fue estimar el consumo presente y futuro de energía en Ciudad Universitaria y las emisiones asociadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los alcances originales fueron los siguientes.

- A. Estimar el consumo de energía eléctrica por usos finales en edificaciones ubicadas en Ciudad Universitaria.
- B. Estimar el consumo de energía eléctrica por bombeo e iluminación.

- C. Estimar el consumo de combustibles por usos finales en edificaciones ubicadas en Ciudad Universitaria.
- D. Estimar el consumo de combustibles para otros servicios en Ciudad Universitaria.
- E. Estimar el consumo de combustibles para transporte dentro de Ciudad Universitaria.
- F. Calcular las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía en Ciudad Universitaria.
- G. Estimar escenarios de emisión al año 2020 y las medidas de mitigación más significativas.

Como se muestra más adelante, la carencia de información no permitió el cumplimiento del objetivo D. En ese caso sólo se presentan resultados para algunas dependencias.

1.3 Antecedentes de estudios y proyectos de ahorro de energía en Ciudad Universitaria.

En 1982 se creó el Programa Universitario de Energía (PUE) con la misión de desarrollar áreas multidisciplinarias de investigación así como formar personal capacitado para contribuir a la solución de problemas relacionados con la generación, distribución y utilización de energía. En 1993, una de las iniciativas del PUE fue el proyecto titulado “La UNAM, un modelo nacional de eficiencia energética”, cuyos objetivos generales fueron:

- Racionalizar los consumos de energía dentro de la Universidad, optimizando el uso de la misma mediante la concientización de la comunidad universitaria con acciones y proyectos aplicados.
- Plantear métodos de suministro y consumo de energía con el menor impacto ambiental, mediante proyectos de investigación sobre sistemas que utilicen fuentes convencionales y alternas.
- Fomentar un modelo energético-ambiental a través de las funciones de la Universidad: enseñanza, investigación y difusión.

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Acatlán es un ejemplo reconocido de los resultados de ese proyecto, ya que recibió en 1993 el segundo lugar del Premio Nacional de Ahorro de Energía otorgado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la categoría de instituciones educativas.

En ese mismo año, el PUE se integró al Programa de Mejoramiento del Campus Universitario, instituido por el Rector José Sarukhán, en el área de ahorro y uso eficiente de la energía. Una de las actividades fue la elaboración del diagnóstico energético de todas las entidades y dependencias universitarias. Durante el segundo semestre de 1993 se seleccionó como zona piloto la comprendida dentro del primer Circuito Escolar que abarca 32 entidades y 54 edificios, entre las que se encuentran las Facultades de Ingeniería, Química,

Derecho y Economía, la Torre de Rectoría y el Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras (CELE).

Durante la primera mitad de 1994 se iniciaron las tareas de diagnóstico energético sobre la zona 2, comprendida entre el Circuito Escolar y el Circuito Exterior (zona de anexos). Posteriormente se hizo el levantamiento eléctrico de entidades y dependencias fuera de Ciudad Universitaria. Para ello se analizaron 26,224 recintos en 17,000 horas de medición y monitoreo eléctrico en 190 subestaciones y tableros generales.

En abril de ese mismo año, como resultado del Primer Congreso sobre la Investigación en Facultades y Escuelas, el Rector Juan Ramón de la Fuente creó el Programa Transdisciplinario en Investigación y Desarrollo para Facultades y Escuelas (PTID-FE) y la Unidad de Apoyo a la Investigación en Facultades y Escuelas (UAIFE) que coordinó los siete macroproyectos del programa.

En 2005, la Facultad de Ingeniería lideró la línea de investigación en Diagnóstico y Ahorro de Energía en el marco del macroproyecto “La Ciudad Universitaria y la energía”. En dicha línea se desarrolló el proyecto “Caracterización energética de edificios de Ciudad Universitaria”, cuyo objetivo fue calcular los indicadores energéticos totales y de uso final que permiten describir el consumo energético de los edificios de CU. En dicho proyecto se analizaron cinco edificios con cinco tipologías diferentes, cuyos resultados forman parte de la fuente de información empleada en el presente estudio (Escobedo, 2010).

2. Ciudad Universitaria

2.1 Antecedentes históricos

Hasta la década de los cuarentas, las escuelas, facultades y oficinas administrativas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) funcionaban en diferentes edificios ubicados al noreste del zócalo de la Ciudad de México, en lo que popularmente se conocía como barrio universitario. Destacan los edificios del Antiguo Colegio de San Ildefonso, el antiguo Palacio de la Inquisición, la Academia de San Carlos y el Templo de San Agustín.

Aun cuando se dice que la concepción del proyecto de reubicación y unificación en un campus que integrara la vida universitaria tiene su origen en la tesis de los arquitectos Mauricio de María y Campos y Marcial Gutiérrez Camarena en 1928, su materialización se da en los años cincuentas (Torres GA, 1995).

En 1943, durante el rectorado de Rodolfo Brito Foucher, se determina al pedregal de San Ángel como el sitio para la construcción de la Ciudad Universitaria. Sin embargo, fue durante el rectorado de Genaro Fernández McGregor, específicamente el 31 de diciembre de 1945, cuando el Congreso de la Unión, a solicitud del rector, aprueba la Ley sobre la Fundación y Construcción de Ciudad Universitaria. Al año siguiente, el rector Salvador Zubirán gestionó la adquisición de los terrenos elegidos, de aproximadamente siete millones de metros cuadrados. El 11 de septiembre de 1946, el presidente Ávila Camacho expidió el decreto de expropiación de los terrenos (Torres GA, 1995; UNAM, 2011a; UNAM, 2011b).

En ese mismo año, se constituyó la Comisión de la Ciudad Universitaria para formular los programas generales de los edificios del campus, convocar a concursos de planeación y proyectos y proponer el plan financiero. Esta comisión estuvo integrada por representantes de la Universidad, de las Secretarías de Educación, de Hacienda y Crédito Público, de Salubridad y Asistencia y del Departamento del Distrito Federal (Torres G.A, 1995).

A fines de 1946, la presidencia de la República dispuso de los recursos necesarios para activar la formulación del anteproyecto general de la obra. La Comisión de la Ciudad Universitaria organizó un concurso para la presentación de anteproyectos del plano de conjunto e invitó a participar a la Escuela Nacional de Arquitectura, a la Sociedad de Arquitectos Mexicanos y al Colegio Nacional de Arquitectos de México (Torres G.A., 1995; UNAM, 2011a).

La concepción del proyecto ganador surge de los entonces estudiantes de arquitectura Teodoro González de León, Armando Franco Rovira y Enrique Molinar. El objetivo primordial fue encontrar un lenguaje arquitectónico propio, integrando arquitectura, urbanismo, modernidad-tradición, artes plásticas y arquitectura y contexto natural existente (UNAM, 2011a).

La coordinación general del proyecto la realizó Carlos Lazo con la colaboración de Mario Pani y Enrique del Moral. El proyecto paisajístico estuvo a cargo de Luis Barragán y Alfonso Cuevas. Poco después surge la Dirección General del Proyecto de Ciudad Universitaria que estuvo a cargo de Mario Pani y Enrique del Moral. La primera etapa constructiva inició en octubre de 1949, una vez elaborado el Plan Maestro, y concluyó formalmente en noviembre de 1952, aun cuando las obras continuaron hasta 1954. Esta primera etapa constó de 193,339 m² de construcción (Figura 1.1).

En los cincuentas se construyó la Torre de Rectoría, con los murales de David Alfaro Siqueiros y la biblioteca central, obra de Juan O'Gorman, Gustavo M. Saavedra y Juan Martínez de Velasco. La construcción de los edificios principales del casco histórico continuó durante los años cincuentas y sesentas. De 1955 a 1970 la superficie construida alcanzó los 183,151 m² (Figura 1.2).

La década de los setentas se caracterizó por la construcción de la Facultad de Ciencias en el circuito exterior y de la ciudad de la investigación científica, así como del Centro Cultural Universitario. Entre 1971 y 1980 se construyeron 260,185m² (Figura 1.3).

Entre 1981 y 1990 se edificó una parte de los institutos de humanidades, el conjunto para la estación del metro CU y la zona administrativa exterior, así como algunos campos deportivos y la planta de composta. En esta década se construyeron 204,653 m² (Figura 1.4). Es también en esta época, concretamente en 1983, que se decreta la reserva ecológica del pedregal de San Ángel en los terrenos de la UNAM, producto de la presión de estudiantes y académicos por conservar la biodiversidad de un ecosistema único de matorral xerófilo. La reserva cuenta con 237 ha destinadas a la investigación y la enseñanza y donde está prohibido construir. Entre 1991 y 2000, continuó la construcción de institutos de investigación en humanidades y ciencias, incrementándose la superficie construida en 140,950 m² (Figura 1.5).

Entre 2001 y 2011 se incrementa la construcción de algunos posgrados en la zona limítrofe. En esta década, la superficie construida fue de 250,124 m² (Figura 1.6). El 28 de junio de 2007 el Campus Central de la Ciudad Universitaria de la UNAM quedó inscrito oficialmente en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO (UNAM, 2011b; UNAM, 2011c).

Figura 1.1 Planta Física C.U. 1954



Fuente: UNAM, 2011c

Figura 1.2. Planta física C.U. 1970



Color clave	Periodo de construcción	Área construida	Porcentaje
	hasta 1954	193,339 m ²	51.35%
	1955 a 1970	183,151 m ²	48.65%
	Total	376,490 m ²	100%

Fuente: UNAM, 2011

Figura 1.3 Planta Física, C.U. 1980



Color clave	Periodo de construcción	Área construida	Porcentaje
■	hasta 1954	193,339 m ²	30.37%
■	1955 a 1970	183,151 m ²	28.77 %
■	1971 a 1980	260,185 m ²	40.86 %
	Total	636,675 m ²	100 %

Fuente: UNAM, 2011c

Figura 1.4 Planta Física C.U., 1990



Color clave	Periodo de construcción	Área construida	Porcentaje
■	hasta 1954	193,339 m ²	22.98 %
■	1955 a 1970	183,151 m ²	21.77 %
■	1971 a 1980	260,185 m ²	30.93 %
■	1981 a 1990	204,653 m ²	24.32 %
	Total	841,328 m ²	100 %

Fuente: UNAM, 2011c

Figura 1.5 Planta Física, C.U. 2000



Color clave	Periodo de construcción	Área construida	Porcentaje
■	hasta 1954	193,339 m ²	19.68 %
■	1955 a 1970	183,151 m ²	18.65 %
■	1971 a 1980	260,185 m ²	26.49 %
■	1981 a 1990	204,653 m ²	20.83 %
■	1991 a 2000	140,950 m ²	14.35 %
	Total	982,278 m²	100 %

Fuente: UNAM, 2011c

Figura 1.6 Planta Física, C.U. 2011



Color clave	Periodo de construcción	Área construida	Porcentaje
■	hasta 1954	193,339 m ²	15.69 %
■	1955 a 1970	183,151 m ²	14.86 %
■	1971 a 1980	260,185 m ²	21.11 %
■	1981 a 1990	204,653 m ²	16.61 %
■	1991 a 2000	140,950 m ²	11.44 %
■	2001 a 2011	250,124 m ²	20.30 %
	Total	1'232,402 m²	100 %

Fuente: UNAM, 2011

2.2 Características generales de Ciudad Universitaria

Para 2011, la superficie construida de Ciudad Universitaria llegó a 1,232,402 m² (UNAM, 2011), divididos en cinco grandes categorías (Figura 2.1): a) Docencia, en color amarillo; b) Investigación en humanidades, en color azul; c) Investigación científica, en color rojo; d) Extensión, en color lila y e) Apoyo y servicios, en color naranja. Por su parte, la superficie en áreas exteriores incluidos los estacionamientos y las vialidades abarcan 898,165 m² (UNAM, 2011c).

Figura 2.1 Superficie construida por uso





UNAM
SECRETARÍA ADMINISTRATIVA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN
Dirección de Planeación y Evaluación de Obras

**Ciudad
Universitaria**

DOCENCIA

1	Escuela Nacional de Trabajo Social	9-I
2	Facultad de Arquitectura	5-I
2a	Laboratorio de Acústica	6-K
3	Facultad de Ciencias	8-L
4	Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	12-M
5	Facultad de Contaduría y Administración	8-J
5a	División de Estudios de Posgrado	9-K
6	Facultad de Derecho	3-J
6a	Anexo de Derecho	3-K
6b	División de Estudios de Posgrado	1-H
7	Facultad de Economía	3-J
7a	División de Estudios de Posgrado	16-I
8	Facultad de Filosofía y Letras	3-I
8a	Anexo de Aulas	4-D
9	Facultad de Ingeniería	4-J
9a	Anexo de Ingeniería	7-K
9b	División de Estudios de Posgrado	6-L
10	Facultad de Medicina	4-L
10a	Centro de Psiquiatría y Salud Mental	4-M
10b	Departamento de Medicina Familiar	6-H
11	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	5-N
12	Facultad de Odontología	3-L
12a	Clínica Odontológica "Santo Domingo"	6-O
12b	División de Estudios de Posgrado	6-O
13	Facultad de Psicología	2-H
14	Facultad de Química	4-K
14a	Conjunto "D"	8-M
14b	Conjunto "E"	9-M
15	Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia	10-I
16	Unidad de Posgrados	4-K

INVESTIGACIÓN EN HUMANIDADES

17	Coordinación de la Investigación en Humanidades	14-K
18	Instituto de Investigaciones Sobre la Universidad y la Educación	13-J
19	Institutos de Investigaciones Estéticas e Históricas	13-K
20	Instituto de Investigaciones Filológicas	14-L
21	Instituto de Investigaciones Filosóficas	14-L
22	Instituto de Investigaciones Jurídicas	13-L
23	Instituto de Investigaciones Sociales	14-M
24	Instituto de Investigaciones Económicas	13-L
25	Instituto de Investigaciones Antropológicas	10-N
26	Torre I de Humanidades	3-I
27	Torre II de Humanidades	3-K

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

28	Centro de Ciencias de la Atmósfera	7-O
29	Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico	10-I
30	Coordinación de la Investigación Científica	7-N
31	Instituto de Astronomía	7-M
32	Instituto de Biología	11-E
32a	Jardín Botánico "Faustino Miranda"	6-L
32b	Jardín Botánico Exterior Vivero Alto	11-E
32c	Orquidario	12-D
33	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	6-M
34	Instituto de Ciencias Nucleares	8-L
35	Instituto de Ecología	10-F
36	Instituto de Física	8-N
37	Instituto de Fisiología Celular	6-M
38	Instituto de Neurobiología	6-N
39	Instituto de Geofísica	7-N
39a	Nucleoteca	5-M
40	Instituto de Geografía	6-N
41	Instituto de Geología	7-N
42	Instituto de Ingeniería	5-K
42a	Mesa Vibratoria y Generador Solar	12-F
43	Instituto de Investigaciones Biomédicas	5-L
43a	Instituto de Investigaciones Biomédicas (Nueva Sede)	9-G
44	Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas	5-L
45	Instituto de Investigaciones en Materiales	7-M
46	Instituto de Matemáticas	8-M
47	Instituto de Química	7-M
48	Secretaría de Investigación y Desarrollo	8-M

EXTENSIÓN

49	Centro Cultural Universitario	
49a	Sala de Conciertos Nezahualcóyotl	14-J
49b	Salas Cinematográficas José Revueltas y Julio Bracho	14-J
49c	Salas Miguel Covarrubias y Carlos Chávez	15-J
49d	Teatro Juan Ruiz de Alarcón y Foro Sor Juana Inés de la Cruz	14-J
49e	Dirección de Teatro y Danza	15-J
49f	Museo Universitario de Arte Contemporáneo	14-I
50	Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras	4-K
51	Centro de Enseñanza Para Extranjeros	2-H
52	Centro Universitario de Teatro	14-J
53	Dirección General de Actividades Cinematográficas	11-O
53a	Bóvedas de Nitratos	6-G
54	Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial	18-K
54a	Talleres e Imprenta	2-I
55	Dirección General de Televisión Universitaria	12-O
56	Espacio Escultórico	12-K
57	Museo de las Ciencias - Universum	15-L
58	Museo Universitario de Ciencias y Arte - Muca	5-H
59	Tienda de Autoservicio	10-O
60	Unidad de Seminarios "Dr. Ignacio Chávez"	14-D
61	Centro Universitario de Estudios Cinematográficos	12-O

APOYO Y SERVICIOS

62	Biblioteca Central (Dirección General de Bibliotecas)	3-H
62a	Anexo Biblioteca Central	7-N
63	Biblioteca Nacional y Fondo Reservado	13-J
63a	Almacén Biblioteca-Hemeroteca	17-J
64	Bodegas de Artes Visuales y Teatro	16-N
65	Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas	3-D
65a	Alberca Olímpica	5-J
65b	Canchas Deportivas	6-J
65c	Canchas Deportivas Asociación Pumas	8-F
65d	Comisión Técnica de Fútbol Americano	5-J
65e	Estadio de Prácticas "Tapatio Méndez"	7-I
65f	Frontón Cerrado	8-I
65g	Medicina del Deporte e Investigación	6-F
65h	Pista de Calentamiento	6-E
66	Dirección General de Administración Escolar	7-O
66a	Registro de Aspirantes	18-K
67	Dirección General de Planeación	16-J
68	Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios	16-J
69	Dirección General de Orientación y Servicios Educativos	4-I
70	Dirección General de Computo y de Tecnologías de Información y Comunicación	10-J
70a	Oficinas en la Zona Cultural	16-J
71	Dirección General de Servicios Médicos	5-H
72	Casa Club del Académico	2-C
73	Centro de Desarrollo Infantil - CENDI	6-O
74	Tienda Puma	4-D
75	Coordinación de Asesores	3-C
76	Consejos Académicos de Área	6-H
77	Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades	5-H
77a	Oficinas Administrativas II	2-I
78	Dirección de Relaciones Laborales	3-F
79	Dirección General de Obras y Conservación	2-E
79a	Almacén de Construcción	16-N
79b	Incinerador	8-F
79c	Oficinas en el Vivero Bajo	6-L
79d	Talleres de Conservación de la Zona Cultural	16-I
79e	Talleres de Conservación	2-F
79f	Composta	16-N
80	Dirección General de Personal	2-I
81	Dirección General de Proveeduría	2-F
82	Dirección General de Servicios Generales y Archivo de la UNAM	17-L
82a	Central de Vigilancia	2-I
82b	Estación de Bomberos	6-G
82c	Taller Mecánico	18-J
82d	Estadio Olímpico Universitario	4-F
82e	Gasolinera	1-I
83	Jardín de Niños	6-I
84	Oficinas Administrativas Exteriores	16-K
85	Planta de Tratamiento de Aguas Negras	3-M
86	Torre de Rectoría	4-H
87	Unión de Universidades de América Latina	4-D
88	Zona Comercial y Gaceta UNAM	4-H
89	Multifamiliar para Profesores	7-F
90	Hospital de Mascotas	8-O
91	Bicicentro	8-O

ABRIL 2011 • Fuentes:
Dirección General de Obras y Conservación
Dirección de Planeación
Dirección de Conservación
Dirección de Construcción
Código e Instructivo de Ejercicio Presupuestal UNAM

2.2.1 Instalación eléctrica de Ciudad Universitaria

La Ciudad Universitaria es alimentada por cuatro acometidas³ en cuatro subestaciones. La alimentación de cada acometida se da en media tensión a 23,000 Volts. La electricidad se distribuye por la red subterránea de 6,300 Volts a las subestaciones derivadas que distribuyen la energía de la siguiente forma:

Subestación 1, Ciudad Universitaria. Es una subestación general con capacidad nominal de 15 MVA (dos transformadores de 7.5 MVA cada uno), que se alternan con una relación de 23,000 a 6,300 V, que es el potencial de distribución interna hacia las instalaciones. Esta subestación alimenta a toda la zona de facultades del trazo original de CU (Figura 1.2) y la zona de anexos, por medio de 82 subestaciones derivadas que suministran la energía adecuada para la operación de las diferentes entidades y dependencias de esa zona.

Subestación 2, Dirección General de Obras y Conservación. Tiene una capacidad nominal de 13 MVA con dos transformadores que se alternan con una relación 23/6300 V, para alimentar por medio de 26 subestaciones derivadas, a los edificios de la zona de institutos de investigación.

Subestación 3, Zona Cultural. Es una estación de medición que distribuye internamente al circuito denominado Zona Cultural, a 23 kV por medio de 11 subestaciones derivadas. No cuenta con transformador y la acometida va directa al seccionador.

Subestación 4. La acometida⁴ va directa al seccionador, no cuenta con transformador y suministra al edificio de Biomédicas. Se espera que esta subestación dé energía al vivero alto, los campos de fútbol, el jardín botánico, etc.

A la fecha, CU cuenta con 111 transformadores derivados, algunos alimentan a más de una edificación.

Ciudad Universitaria no cuenta con medidores en los diferentes edificios e instalaciones, por lo que no puede contabilizarse el consumo de electricidad por edificación o dependencia. Esto hace sumamente difícil la administración de la demanda eléctrica.

Por otro lado, la facturación eléctrica se paga a nivel central, las dependencias no tienen información de sus consumos.

³ Una acometida es la parte de la instalación eléctrica que se construye desde las redes de distribución, hasta las instalaciones del usuario.

⁴ En el anexo se presentan los diagramas unifilares de las tres primeras acometidas, no se cuenta con esta información para la subestación cuatro.

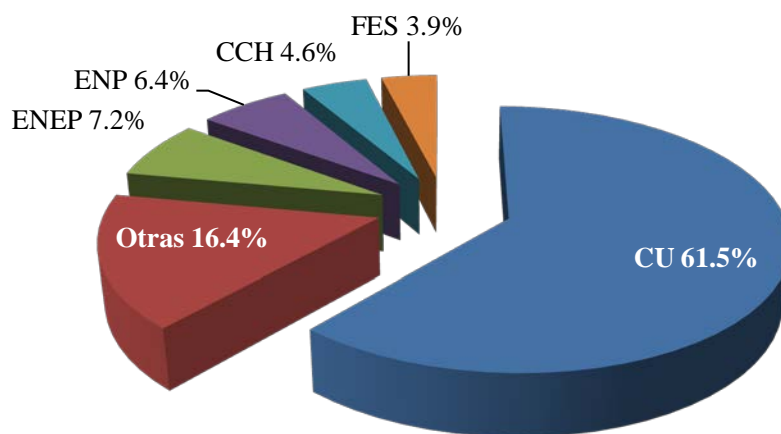
2.2.2 Facturación eléctrica

La tarifa por consumo de electricidad de CU corresponde a la tarifa horaria en media tensión (HM). Esta tarifa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se aplica a los servicios que destinan la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más. En esta tarifa se aplican cargos por la demanda facturable, por la energía de punta, por la energía intermedia y por la energía de base (el anexo 1 muestra las características y cargos de esta tarifa).

El objetivo de las tarifas horarias es promover que los usuarios cambien patrones de consumo y con ello la curva de demanda del periodo intermedio o de pico (entre 6 y 9 de la noche) a la base (en horario de la mañana). Es obvio, sin embargo, que las instituciones de educación tienen horarios de demanda de electricidad que difícilmente pueden cambiar. A diferencia del sector industrial que en general, puede cambiar los horarios de su proceso productivo, las instituciones educativas no pueden hacerlo por los objetivos de enseñanza, investigación y difusión. Es cuestionable entonces, que la UNAM tenga una tarifa horaria.

En términos de la estructura del consumo obtenida de la facturación en el año 2007, la Ciudad Universitaria representa el 61.5% del total del consumo de las diferentes instalaciones de la UNAM en el Valle de México, como se muestra en la gráfica siguiente (Sánchez et al.; 2007).

Figura 2.2. Distribución del consumo de energía eléctrica en diferentes campus de la UNAM



Fuente: Sánchez. et al. 2007

Entre septiembre de 2009 y febrero de 2011 la facturación de electricidad se hizo a través de estimaciones debido a la desaparición de la compañía Luz y Fuerza del Centro y la absorción de sus funciones por parte de CFE. Para el año 2011 sólo se contó con la información de la facturación real de los meses de abril a septiembre.

Entre enero de 2007 y septiembre de 2011 la facturación de electricidad de CU pasó de un promedio mensual de 7.2 millones de pesos a 14.2 millones de pesos, es decir se incrementó en casi 100%. Sin embargo, el precio medio de la tarifa eléctrica correspondiente a la media tensión tan sólo creció en 20% para el mismo periodo. Esto implica que el consumo creció en 80%. De acuerdo con el Plan Maestro de CU, entre enero de 2007 y diciembre de 2011 se construyeron 129.6 mil metros cuadrados de edificaciones para diferentes usos, lo que genera mayores consumos de electricidad (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Resumen de superficie construida por función en Ciudad Universitaria

Año	Docencia	Investigación	Extensión y Difusión	Gestión Institucional	Área m ²	
					Anual	Acumulada
2011	51,916	13,843	690	7,574	74,023	1,245,705
2010	3,041	2,112	1,889	1,663	8,705	1,171,682
2009	9,170	722	0	0	9,892	1,162,977
2008	502	91	0	0	593	1,153,085
2007	5,756	3,749	22,755	4,143	36,403	1,152,492

Fuente: Plan Maestro (UNAM, 2011c)

Las Figuras 2.3 y 2.4 muestran el consumo y la demanda mensual de electricidad de Ciudad Universitaria, para 2007 y 2008 así como para algunos meses de 2009 y 2011. El consumo intermedio, que se da desde las 6 h a las 18 h, en horario de invierno y de 6 h a 20 h en horario de verano, es el más alto y el que está sujeto a variaciones estacionales, que dependen principalmente de la actividad en Ciudad Universitaria (clases y vacaciones) y en menor medida de las condiciones climáticas. Esto es más claro para los años 2007, 2009 y 2011. Por su parte, el consumo base alcanzó valores similares en los años 2009 y 2011 y estos valores son más altos que los registrados en 2007 y 2008. El consumo en hora punta, que comprende desde las 20 h a las 22 h, en horario de verano y de 18 h a 22 h en horario de invierno, es el más bajo para los diferentes años analizados, en 2011 registró valores muy similares a los de 2007 y menores a los de 2008 y 2009.

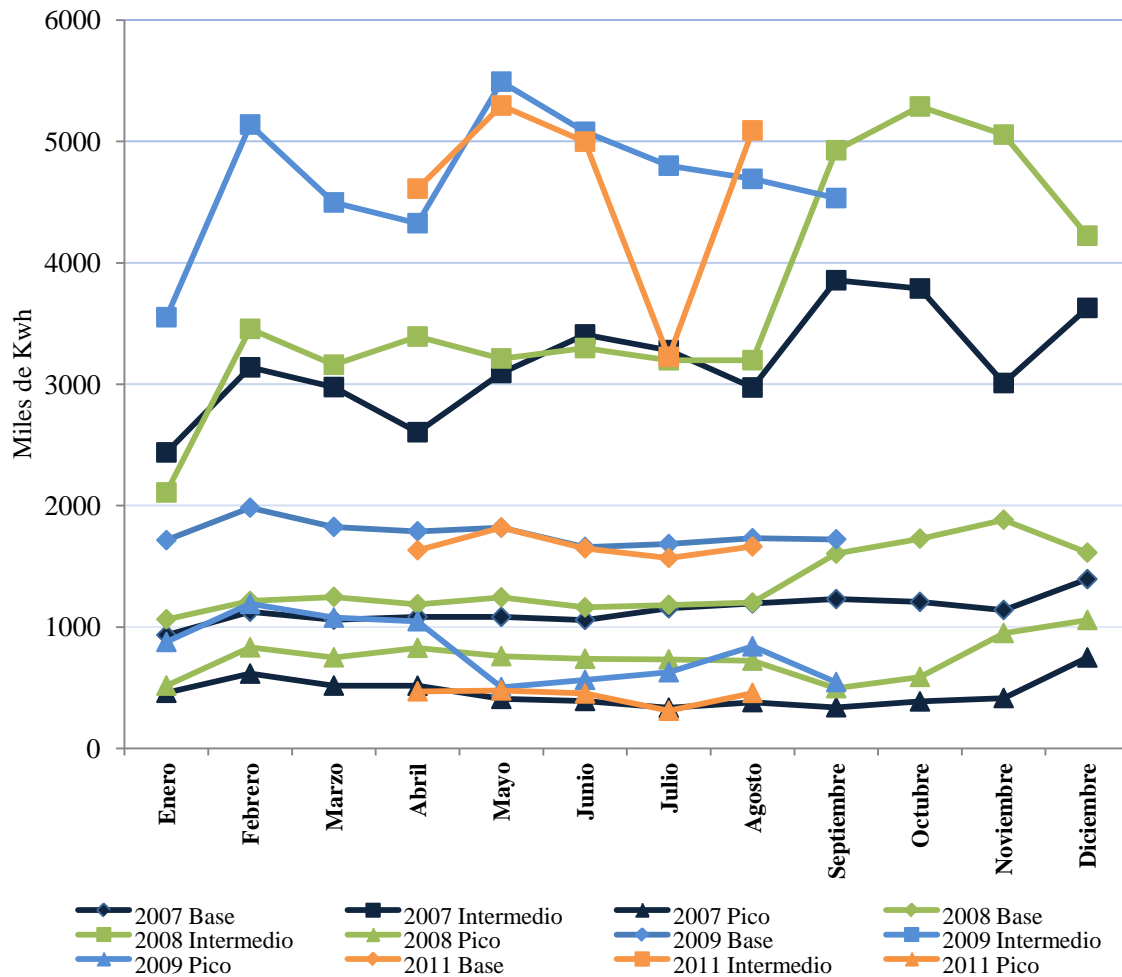
En el caso de la demanda es claro el incremento a partir de agosto de 2008. Las demandas base e intermedia de 2011 resultaron menores que las de 2009, probablemente esta reducción esté asociada a diversas medidas de ahorro de energía.

Para estimar la facturación anual de 2011 se calcularon los promedios de meses activos y de periodo vacacional⁵. De acuerdo con dicha estimación, para 2011 CU consumió

⁵ Se asumen las siguientes similitudes: la facturación de enero es semejante a la de junio (meses con actividad académica y administrativa, pero sin asistencia de alumnos), las de febrero y marzo son similares a la de mayo, las de octubre y noviembre son similares a septiembre (meses con actividad académica total y con cierta similitud en clima) y diciembre es similar a abril (semana santa y periodo vacacional de diciembre).

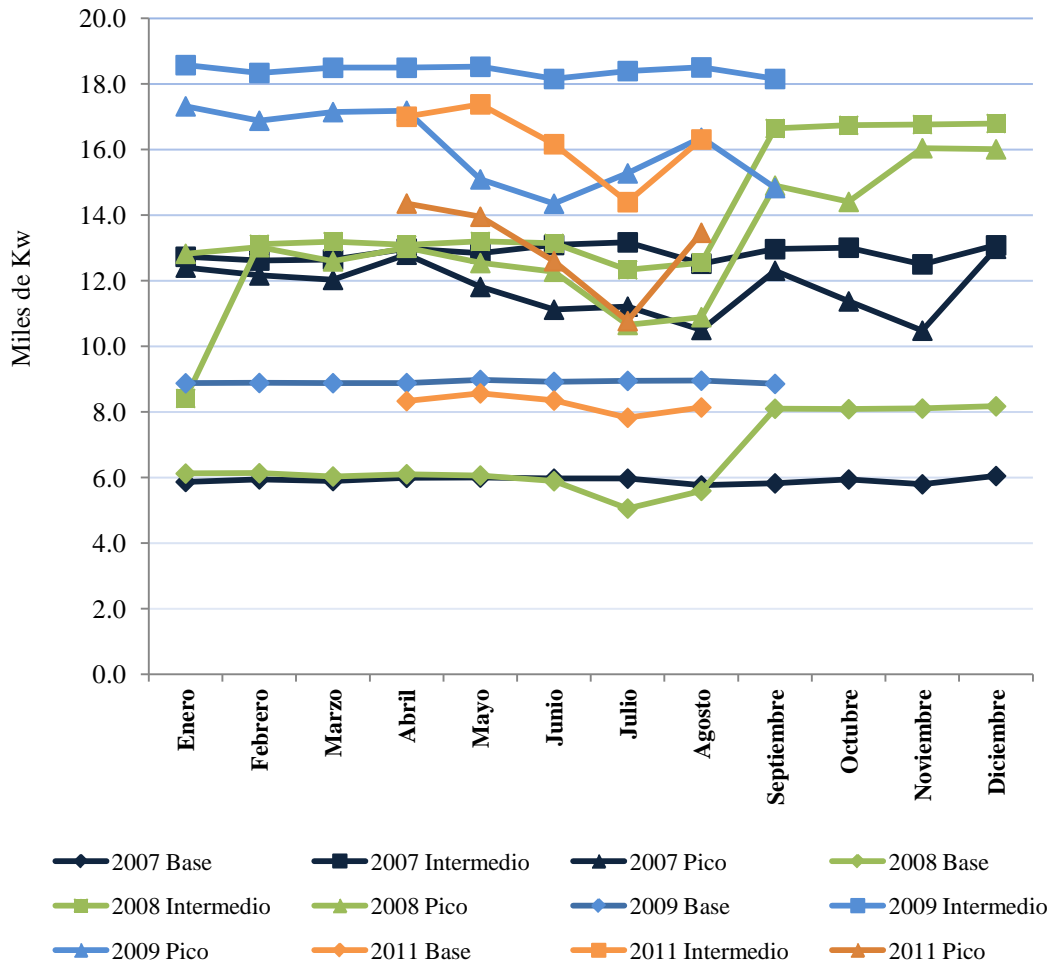
83,572,527 kWh y pagó a CFE por concepto de electricidad la cantidad de 159.8 millones de pesos. Para ponerlo en proporción, este consumo representó el 0.6% de las ventas de CFE en el Distrito Federal. La Tabla 2.2 muestra las características de la factura eléctrica para los meses de abril a septiembre de 2011.

Figura 2.3 Consumo mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011.



Suma de cuatro subestaciones (facturación CFE)

Figura 2.4 Demanda mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011



Suma de cuatro subestaciones (facturación CFE)

Tabla 2.2 Características de la facturación de electricidad para CU abril-septiembre 2011

Subestación	Mes	Demanda máxima (kW)				Consumo de energía (kWh)				Factor de potencia	Factura eléctrica	Factor de Carga
		Base	Intermedio	Punta	Facturable	Base	Intermedio	Punta	Total	[%]	[\$]	[%]
1, Circuito Interior.	abr-11	3,267	6,039	5,157	5,422	667,920	1,727,670	179,220	2,574,810	86.7	4,358,490	59.6
	may-11	3,282	6,270	5,052	5,418	747,180	1,966,200	181,950	2,895,330	87.2	9,419,873	62.1
	jun-11	3,207	5,829	4,665	5,015	675,090	1,868,640	174,510	2,718,240	87.1	4,861,571	64.8
	jul-11	3,171	5,082	3,858	4,226	647,880	1,277,670	124,650	2,050,200	84.3	3,859,195	54.2
	sep-11	3,099	5,760	4,746	5,051	679,230	1,757,730	161,100	2,598,060	86.7	4,778,478	62.7
2, Circuito Exterior.	abr-11	3,806	8,187	6,938	7,313	716,400	2,194,800	224,400	3,135,600	90.3	5,347,925	53.2
	may-11	3,845	8,324	6,761	7,230	795,600	2,535,600	225,600	3,556,800	90.6	11,572,347	57.4
	jun-11	3,712	7,542	5,940	6,421	718,800	2,337,600	207,600	3,264,000	91.1	5,803,161	60.1
	jul-11	3,485	6,920	5,098	5,645	679,200	1,420,800	138,000	2,238,000	89.2	4,281,876	43.5
	ago-11	3,730	8,010	6,624	7,040	733,200	2,541,600	225,600	3,500,400	92.1	6,196,537	44.7
sep-11	3,644	8,007	6,729	7,113	730,800	2,378,400	211,200	3,320,400	92.3	6,098,902	57.6	
3, Zona Cultural.	abr-11	1,029	2,274	1,992	2,077	203,520	578,280	56,670	838,470	99.2	1,415,885	51.2
	may-11	1,197	2,280	1,863	1,989	227,700	668,970	59,940	956,610	98.7	3,061,282	56.4
	jun-11	1,215	2,295	1,734	1,903	208,830	679,260	60,270	948,360	98.8	1,661,110	57.4
	jul-11	960	2,079	1,581	1,731	197,460	440,730	39,390	677,580	99.2	1,264,235	43.8
	ago-11	1,083	2,199	1,830	1,941	204,720	688,230	61,050	954,000	98.9	1,664,432	58.3
	sep-11	1,098	2,301	1,809	1,957	211,200	637,740	55,140	904,080	99.1	1,631,231	54.6
4.	abr-11	229	498	266	336	44,182	110,078	9,599	163,859	91.0	266,298	45.9
	may-11	243	502	275	344	48,380	124,454	9,773	182,607	92.1	576,006	48.9
	jun-11	214	495	257	329	44,521	112,428	9,492	166,441	93.3	291,684	46.7
	jul-11	209	314	233	258	43,366	85,634	7,836	136,836	91.2	241,778	58.6
	sep-11	225	336	262	285	45,768	102,609	8,997	157,374	94.3	274,013	65.1

3. Metodología

3.1 Auditorías energéticas

Por las características del desarrollo del proyecto, específicamente en lo que concierne al tiempo y recursos, el estudio se basó en la metodología de auditorías energéticas en su Nivel 1, la cual se realizó para un grupo representativo de edificios de Ciudad Universitaria (CU). Además, se utilizaron los resultados de estudios previos (Sánchez, 2007; Escobedo, 2009) de medición de consumo de energía eléctrica de edificios de CU, que permiten evaluar con mayor exactitud las curvas de carga horarias.

Una auditoría energética puede ser definida como un proceso de evaluación de uso de la energía en un edificio o en una planta productiva, que identifica las oportunidades para la reducción del consumo. Las auditorías energéticas tienen diversos niveles de acuerdo con la exactitud y tiempo de realización.

De acuerdo con Thuman y Younger (2008), los tres niveles de auditoría energética tienen las siguientes características:

Nivel 1. Camino hacia una auditoría

Representa una revisión del edificio o edificios para inspeccionar cada uso de la energía y sistemas energéticos. Incluye la evaluación de los datos del consumo de energía para analizar cantidades y patrones de uso y evaluar comparativamente con otros edificios similares y de acuerdo al “benchmarking” (mejor tecnología en el mercado) el potencial de ahorro de energía. Es la auditoría que implica menos costos pero que permite una primera aproximación sobre los ahorros de energía, provenientes de cambios de tecnología o mejoras en las prácticas de operación y mantenimiento de los edificios.

Nivel 2. Auditoría estándar

Cuantifica los usos de energía y las pérdidas a través de una revisión más detallada y un análisis del equipo en uso y sus características en operación. Este análisis incluye mediciones que a través de cálculos de ingeniería, permiten cuantificar consumos, eficiencias y ahorros. Este análisis incluye también los cálculos de costos asociados a las medidas de ahorro recomendadas.

Nivel 3. Simulación en computadora

El Nivel 3 incluye un conocimiento más detallado del uso de la energía y un análisis más comprensivo de la operación y el mantenimiento. Esto se complementa con el uso de software computacional que simula consumos, medidas de ahorro y estima el consumo para años futuros de acuerdo con mediciones más exactas y programas de sustitución de equipo y medidas de la operación y mantenimiento. Este método requiere de mayor tiempo y

representa mayores costos dado el detalle de información que ofrece y los equipos requeridos para obtenerla.

3.2 Emisiones

La estimación de las emisiones de GEI se obtiene de manera indirecta de acuerdo con la metodología del IPCC (2006a) y la metodología aprobada por CONUEE (2009) para consumo de energía eléctrica.

En general, el método para la estimación de emisiones de GEI se reduce a la siguiente ecuación:

$$E = \sum_{ij} A_{i,j} * FE_{i,j} * PC_j$$

Donde:

E es la suma de las emisiones de los gases j que emiten las actividades i, en unidades de CO₂ equivalente.

A_i son las diversas actividades agregadas.

FE es el factor de emisión del gas j para la actividad agregada i.

PC_j es el potencial de calentamiento del gas j (1 para CO₂, 25 para CH₄ y 298 para N₂O).

El IPCC ha compilado factores de emisión por actividad agregada para los diversos sectores y categorías. En la tabla 3.1 se muestran los factores de emisión utilizados para este trabajo y que representan la cantidad de gases efecto invernadero que se generan por la producción de electricidad o por la quema de combustibles como el GLP y el diesel.

Para el caso de la electricidad, se considera lo siguiente: el sistema eléctrico nacional está interconectado en todo el territorio, con excepción de la península de Baja California. Esto significa que la electricidad que se genera en las diferentes plantas en el país, se transmite a través de una red compleja a todo el territorio. Por esta razón, puede hacerse la suposición de que cada kWh que se consume, es generado por un promedio de todas las plantas existentes. En términos estrictos esto no es real, pues dependiendo de la hora del día, se utilizan diferentes plantas, es decir un despacho de carga distinto. Sin embargo, en términos gruesos es factible hacer este supuesto.

Tabla 3.1 Factores de emisión

Factores de emisión de GLP, diesel (Kg/TJ)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
GLP (estufas, regaderas)	63100	1	0.1
Diesel (plantas de emergencia)	74100	3	0.6
Factores de emisión por generación eléctrica (Kg/TJ)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Carbón	98300	10	1.5
Diesel	74100	3	0.6
Combustóleo	77400	3	0.6
Gas natural	56100	1	0.1

Fuente: IPCC (2006)

Con base en ello, puede calcularse un factor de emisión eléctrico, que no es más que el consumo total de combustible para generar electricidad entre la generación bruta de energía eléctrica de todas las plantas de generación, menos las pérdidas por transmisión (CONUEE, 2009). La siguiente ecuación lo refleja

$$\text{FE electricidad}_{i,t} = \frac{\sum C_{j,t} \text{FE}_{i,j}}{\text{GE}_t (1-\text{FP}_t)}$$

Donde:

C_j es el consumo del combustible j en el año t

$\text{FE}_{i,j}$ es el factor de emisión del gas i del combustible j

GE es la generación bruta en el año t

FP es el factor de pérdidas (en porcentaje) de transmisión del año t

La tabla 3.2 muestra los datos utilizados para el cálculo del factor de emisión eléctrico para el año 2010. A la fecha, CFE no ha publicado la información de la generación por tipo de combustibles para el año 2011, por tanto se asume que la estructura de generación de electricidad en 2011 es igual a la de 2010 y el factor de emisión que se utiliza es el de 2010, que es igual a 0.551 Kg CO₂eq/kWh.

Tabla 3.2 Factor de emisión eléctrico para 2010

	Consumo de combustibles (PJ)	Factores de emisión (kg/TJ)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Carbón	322.75	98300	10	1.5
Diesel	14.7	74100	3	0.6
Combustóleo	377.1	77400	3	0.6
Gas natural	985.1	56100	1	0.1
Producción bruta de electricidad (PJ)	873.4			
Pérdidas	12%			
Factor de emisión eléctrico	t/TJ	kg/kWh		
CO ₂	152.6	0.549		
CH ₄	0.007	0.000025		
N ₂ O	0.001	0.000004		
FE CO ₂ eq	153.1	0.551		

Fuente: SENER (2011); IPCC (2006)

3.3 Adquisición y procesamiento de información

3.3.1 Adquisición de información base para consumos de energía eléctrica

Para obtener la información del consumo de energía eléctrica por usos finales en las diferentes edificaciones de CU, se utilizaron cuatro fuentes de información: a) Estudios previos del Programa de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (PAE-FI); b) Levantamiento de información en diferentes edificios y espacios (auditoría energética Nivel 1); c) Planos de edificaciones e información específica y d) Consumo de energía promedio de equipos de cómputo del FIDE (2011).

a) Estudios previos

Como se menciona en el punto 1.3 de este trabajo, el PAE-FI tiene entre sus objetivos, el estudio del consumo de energía eléctrica de la UNAM. Para ello ha realizado diversas auditorías energéticas y mediciones que fueron tomadas en cuenta en este trabajo. En el Anexo 3 se presenta una lista de las edificaciones medidas por el PAE-FI e incluidas en este estudio.

b) Levantamiento (auditoría Nivel 1)

Universo de estudio y clasificación de las edificaciones y otros espacios.

El universo de estudio está constituido por toda Ciudad Universitaria y comprende tanto los edificios como las áreas verdes, pasillos (andadores) techados, campos deportivos, etc., que en total suman 1,255,604 m² de construcción en 2,053 espacios y edificios (UNAM, 2011c). Estos espacios y edificios tienen usos diferentes y por tanto, características también diferentes (magnitud y equipamiento) que aunados al plazo de desarrollo del estudio,

llevaron a definir una estrategia para la obtención de datos basada en el levantamiento en sitio de un número importante de edificaciones representativas de los usos no cubiertos por los estudios previos. Los resultados del levantamiento y de los estudios previos se usaron posteriormente para el cálculo de los indicadores con los cuales se estimó el consumo energético y las emisiones de toda CU.

Como tarea inicial se definieron tipologías de edificaciones y espacios de acuerdo con su uso principal. Se consultó el Sistema de Información de la Planta Física (SIPLAFI) elaborado por la DGOC (2011). Con base en la clasificación de SIPLAFI y los objetivos del estudio se definieron 20 tipos que comprenden espacios o edificaciones diferentes, como se presenta en el Anexo 2. El número de edificios y espacios analizados, así como la superficie de construcción correspondiente, se presentan en la Tabla 3.3.

Usos finales

De acuerdo con estudios previos, se definieron los principales usos finales de la energía eléctrica siguientes: iluminación, aire acondicionado, refrigeración/congelación, equipo de cómputo, calefacción, equipo especial (equipos de laboratorio), equipo de fuerza (bombeo por ejemplo), y misceláneos que consideran otros equipos menores.

Características del levantamiento de información

Previo al levantamiento de información se elaboró un cuestionario base con claves para su captura posterior. La elaboración del cuestionario no es trivial, requirió de la experiencia del personal del PAE-FI y el conocimiento de los integrantes del equipo de investigación.

En el levantamiento de información participaron estudiantes de servicio social, especialidad y maestría que recibieron una capacitación previa. Los datos más importantes para calcular el consumo de energía son la potencia del equipo por cada uso final y las horas de uso. Adicionalmente se recopilaron datos del tipo de equipo y su voltaje. Se pudo obtener información para más de 119 edificaciones y espacios de CU sin considerar las áreas exteriores (la lista se encuentra en el Anexo 3).

Captura de información

La captura de la información proveniente del levantamiento se hizo en una base de datos diseñada *ad-hoc* para el estudio, a partir de la cual se realizaron posteriormente los cálculos de consumo de energía y emisiones por uso final y tipología.

Tabla 3.3 Superficie de construcción de las tipologías para las cuales se realizaron levantamientos y superficie de construcción total reportada por SIPLAFI.

Tipología	Levantamiento ⁽¹⁾		SIPLAFI	Participación (m ² levantamiento/ m ² SIPLAFI)
	Cantidad	Área (m ²)	Área (m ²)	
Edificaciones				
Aulas	16	48,467	291,660	17%
Aulas con laboratorio	8	27,421	133,945	20%
Bibliotecas	2	16,968	52,190	33%
Entidades de Investigación en Humanidades	3	33,631	138,205	24%
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	252,991	35%
Laboratorios independientes	2	25,686	754	(4)
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	34,287	8%
Oficinas administrativas	5	38,489	175,862	22%
Cafeterías y restaurantes	3	2,593	9,690	27%
Unidades médicas	1	31,277	20,102	(4)
Cines, teatros y auditorios	2	5,988	43,731	14%
Museos	1	-	27,837	-
Tienda UNAM	1	12,831	12,831	100%
TV UNAM	ND	-	7,787	-
Bomberos	ND	-	460	-
Áreas exteriores				
Expendios exteriores	18	94	6,683 ⁽³⁾	1%
Campos deportivos	2	14,381	11,619	(4)
Estacionamientos y vialidades ⁽²⁾		146,672	895,150	100%
Estadio	1	9,317	14,783	63%
Alberca ⁽²⁾	-	-	-	100%
Plantas de tratamiento de agua ⁽²⁾	-	-	-	100%
Pozos ⁽²⁾	-	-	-	100%
Total		480,716	2,155,205	22%

(1) Levantamiento o auditoría realizada por este proyecto o por estudios previos del PAE-FI o el PUMA.

(2) Para estos tipos se contó con información completa proporcionada por la DGOC o por el PUMA.

(3) Dato proveniente del levantamiento realizado por PAE-FI, ya que SIPLAFI contempla sólo los registrados en Patronato Universitario.

(4) El levantamiento abarcó mayor área que la contemplada por SIPLAFI para esta tipología. En el caso de los Laboratorios independientes SIPLAFI los contempla dentro de las Entidades de Investigación Científica y sólo se pudo identificar 754 m² para esta tipología, asimismo las Unidades médicas las agrupa con las Facultades respectivas y sólo fue posible identificar 20,102 m².

c) Planos e información específica

El PAE-FI y la DGOC disponen de planos de un grupo importante de edificaciones y áreas, dichos planos contienen información del tipo de luminarias y diagramas unifilares (distribución de carga eléctrica). En algunos casos también contienen ubicación de equipo

de aire acondicionado y de cómputo. Por otro lado, la DGOC proporcionó la siguiente información:

- Inventario de alumbrado exterior del campus central y del Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria (Marzo 2009).
- Inventario de luminarias en andadores cubiertos en CU (Marzo 2009).
- Inventario de luminarias en canchas deportivas de CU.
- Información de potencia y consumo de energía en plantas de tratamiento y bombeo de agua potable y tratada.

d) Consumo de energía de equipos de cómputo

Debido a la gran dispersión de los datos obtenidos del levantamiento, el consumo unitario promedio de los equipos de cómputo se validó con información de FIDE (2011).

3.3.2 Procesamiento de información para consumos de energía eléctrica

a) Indicadores de potencia y energía

Una vez capturada la información de los diversos equipos se estimó la potencia promedio de los mismos o el consumo de energía eléctrica promedio anual por usos finales, para el conjunto de edificios analizados y a partir de esta información se estimaron los indicadores de energía. Para su mejor interpretación, estos indicadores deben estar referidos a una unidad común, es decir representan la potencia o consumo de energía por unidad. La unidad o variable utilizada para estimar los indicadores de iluminación, aire acondicionado (AA), refrigeración/congelación, calefacción y equipo especial (equipos de laboratorio) fue de superficie, es decir, metros cuadrados construidos. Por ejemplo, la potencia promedio para iluminación por metro cuadrado de construcción por edificación.

b) Consumo de energía eléctrica a partir de indicadores

Una vez obtenidos los indicadores de energía o potencia asociados a la superficie construida, se multiplica el indicador por tipología y uso final por los metros cuadrados de construcción reportados por SIPLAFI para cada tipología. Por ejemplo, a partir del levantamiento de información se conoce que en las aulas, la potencia promedio para iluminación es de 16.7 W/m^2 (ver en la Tabla 4.2 del capítulo siguiente). Este indicador se multiplica por los metros cuadrados construidos de aulas en CU y las horas de uso promedio por tipología y se obtiene el consumo para iluminación en aulas.

En el caso de tipologías para las cuales no se obtuvo información de determinado uso final, éste se estima a través de los indicadores. Por ejemplo, para el caso de las bibliotecas, el levantamiento no proporcionó información del consumo de energía eléctrica para aire acondicionado, sin embargo se conoce que estos equipos están presentes en la mayoría de las bibliotecas de CU. En este caso se utiliza el indicador promedio y se multiplica por los

metros cuadrados que ocupan las bibliotecas de CU.

3.3.3 Gas y diesel

En Ciudad Universitaria no se usa gas natural, así que los combustibles que proporcionan energía para diversos usos son el gas licuado de petróleo (GLP) y el diesel. El gas LP se usa principalmente, para calentar el agua para regaderas, para la cocción de alimentos en restaurantes y por equipo de laboratorio. Por su parte, el diesel es utilizado esencialmente por las plantas de emergencia y en menor escala para el calentamiento de agua en las regaderas ubicadas en talleres aislados (tal es el caso de algunos talleres de la DGOC), mientras que algunas de las calderas que calientan el agua de la alberca olímpica usan diesel y gas LP.

Se solicitó a través del PUMA a las entidades y dependencias de la UNAM en CU, las facturas o bitácoras de carga de GLP. Se obtuvo información válida para efectos del estudio, de seis entidades. Adicionalmente, se contó con información de las cargas de GLP de la Cafetería Azul y oro del Centro Cultural Universitario y de la Tienda UNAM, así como del diesel empleado en el calentamiento del agua de la alberca. Con esta información y considerando las fechas de la primera y la siguiente carga, se estimó el consumo diario.

Por otro lado, se realizó un levantamiento de los equipos de algunos servicios de regaderas. En el caso del diesel se contó con información del consumo de las plantas de emergencia del Estadio Olímpico, del Centro Cultural y de las calderas para el calentamiento de agua en talleres aislados.

3.3.4 Combustibles para transporte

Como parte de los objetivos originales del proyecto se propuso la estimación del consumo de energía y de las emisiones de GEI asociadas al consumo de combustibles para transporte. Desafortunadamente no se contó con información suficientemente relevante. En el Anexo 3 se presenta el resumen de la información obtenida con relación a este sector.

3.3.5 Escenarios

Los escenarios de emisión se construyeron al 2020. Para el escenario base, que asume que los indicadores energéticos permanecen constantes, se consideró que el crecimiento de CU responderá a lo proyectado en el Plan Rector de Ciudad Universitaria (UNAM, 2011c) representado en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Crecimiento esperado para CU



Fuente: UNAM, 2011c

En la figura 3.1 destaca el incremento de 17.95 ha para el desarrollo de actividades deportivas, seguido de 12.19 ha adicionales para los servicios y apoyo, mientras que para las actividades académicas y la difusión cultural se proyectó un crecimiento de 1.32 ha y 1.22 ha, respectivamente.

Por otra parte, el diseño de los escenarios de mitigación se basa en la incorporación de diferentes cambios tecnológicos para el ahorro de energía.

4. Resultados

4.1 Usos finales de la energía eléctrica.

4.1.1. Iluminación

La iluminación en Ciudad Universitaria tiene a su vez dos grandes usos: la iluminación en edificaciones (con sus diversas tipologías) y la iluminación exterior (incluye expendios exteriores, estacionamientos y vialidades, campos deportivos y estadios). El levantamiento de información para los espacios seleccionados, así como la información proveniente de estudios previos, generaron los resultados que se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Iluminación en CU por tipología

Tipología	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Edificaciones						
Aulas	16	48,467	807.7	807.7	1,884	1,521,442
Aulas con laboratorio	8	27,421	404.06	321.81	1,232	497,823
Biblioteca	2	16,968	266.49	266.49	2,328	620,345
Entidades de Investigación en Humanidades	3	33,631	274.36	274.36	1,564	429,068
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	839.12	673.14	1,435	1,203,994
Laboratorios independientes	2	25,686	15.71	12.85	1,405	22,069
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	19.94	11.23	1,240	24,717
Oficinas administrativas	5	38,489	134.92	134.92	1,455	196,285
Cafeterías y Restaurantes	3	2,593	32.26	30.73	1,831	59,069
Unidades médicas	1	31,277	116.35	105.69	1,545	179,765
Cines, teatros y auditorios	1	5,988	107.02	2.9	1,025	109,726
Comercial	1	21,723	328.71	¿?	1,673	549,975
Subtotal		344,077	3,346.64			5,414,278
Aéreas exteriores						
Expendios exteriores	18	94	2.17	¿?	1,326	2,877
Estacionamientos y vialidades	25	146,672	241.01	241.01	2,991	720,957
Campos deportivos	2	14,381	110.88	¿?	833	92,406
Estadio	1	9,317	346.68	¿?	546	189,142
Subtotal		170,464				1,005,382
Total		514,540				6,419,660

A partir de los datos de potencia total instalada, superficie y consumo promedio anual de la Tabla 4.1 se calcularon los indicadores energéticos que se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Indicadores energéticos – Iluminación-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m²)	Consumo por superficie por año (kWh/m²/año)
Edificaciones		
Aulas	16.66	31.39
Aulas con Laboratorio	14.74	18.15
Biblioteca	15.71	36.56
Entidades de Investigación en Humanidades	8.16	12.76
Entidades de Investigación Científica	9.43	13.53
Laboratorios independientes	0.61	0.86
Talleres de conservación y mantenimiento	7.03	8.72
Oficinas administrativas	3.51	5.10
Cafeterías y Restaurantes	12.44	22.78
Unidades médicas	3.72	5.75
Cines, teatros y auditorios	17.87	18.32
Comercial	15.13	25.32
Áreas exteriores		
Expendios exteriores	23.09	30.61
Estacionamientos y vialidades	1.64	4.92
Campos deportivos	7.71	6.43
Estadio	37.21	20.30
Promedio	12.17	16.34

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana *NOM-007-ENER-2004 de Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*, la densidad de potencia para alumbrado en escuelas o instituciones educativas, bibliotecas y teatros no debe ser mayor de 16.0 W/m², mientras que para salas de cine este límite es de 17. De acuerdo con los resultados obtenidos las aulas, los cines, teatros y auditorios de CU no cumplen con la norma, teniendo una densidad de potencia ligeramente mayor.

4.1.2 Refrigeración

La Tabla 4.3 presenta el resultado del levantamiento realizado para el caso de refrigeración. De los espacios seleccionados, la mayor demanda de energía para este uso final, la presentan las edificaciones que corresponden a las entidades (facultades, centros e institutos) de investigación científica, seguidas aunque con una importante distancia, por las aulas con laboratorio y los expendios exteriores.

Tabla 4.3 Refrigeración en CU por tipología.

Tipología	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Aulas con laboratorio	8	27,421	23	23	7,722	177,604
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	268	268	8,554	2,292,604
Laboratorios independientes	2	25,686	1	1	7,644	7,644
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	6	6	7,398	44,388
Cafeterías y Restaurantes	3	2,593	9	9	7,582	68,240
Unidades médicas	1	31,277	6	6	7,839	47,033
Tienda UNAM	1	12,831	18	18	7,552	135,936
Expendios exteriores	18	94	10	20	7,552	75,520
Total						2,848,969

Los indicadores energéticos para refrigeración por tipología se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Indicadores energéticos –Refrigeración-.

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie (kWh/m ² /año)
Aulas con Laboratorio	0.84	6.48
Entidades de Investigación Científica	3.01	25.76
Laboratorios independientes	0.04	0.30
Talleres de conservación y mantenimiento	2.12	15.65
Cafeterías y Restaurantes	3.47	26.32
Unidades médicas	0.19	1.50
Tienda UNAM	1.40	10.59
Expendios exteriores	106.38	803.40
Promedio	14.681	111.25

En la tabla 4.4 destaca el valor del indicador de los expendios exteriores. De acuerdo con la muestra, el 22% de los expendios exteriores cuenta al menos con un refrigerador. La potencia promedio por expendio es de 1.3 kW. Dada la poca superficie de los expendios (5.22 m² por expendio, en promedio) el consumo de energía por unidad de área del expendio resulta sumamente alto.

4.1.3 Aire acondicionado y calefacción

De forma similar a los usos finales presentados previamente, las Tablas 4.5 y 4.6 muestran los resultados del levantamiento de información e indicadores para aire acondicionado (AA) y las Tablas 4.7 y 4.8 para calefacción. En este último caso, solamente se encontraron

calentadores en unidades médicas y algunos cubículos de las entidades de investigación científica.

El mayor consumo de energía de aparatos de aire acondicionado es el de las entidades (facultades, centros e institutos) de la investigación científica, seguidos por las oficinas administrativas y las aulas con laboratorios.

Tabla 4.5 AA en CU por tipología.

Tipología	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo kWh/año
Aulas con laboratorio	8	27,421	196	17	551	107,854
Cafeterías y restaurantes	3	2,593	2	2	629	1,176
Entidades de Investigación en Humanidades	3	33,631	14	14	524	7,204
Oficinas administrativas	5	38,489	377	11	548	206,723
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	5	5	524	2,617
Unidades médicas	1	31,277	20	14	742	14,722
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	428	119	922	394,322
Total						734,618

Tabla 4.6 Indicadores energéticos –AA-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie (kWh/m ² /año)
Aulas con Laboratorio	7.13	3.93
Cafeterías y Restaurantes	0.72	0.45
Entidades de Investigación en Humanidades	0.41	0.21
Oficinas administrativas	9.80	5.37
Talleres de conservación y mantenimiento	1.76	0.92
Unidades médicas	0.63	0.47
Entidades de Investigación Científica	4.80	4.43
Promedio	3.61	2.25

Al obtener los indicadores por unidad de superficie, el mayor consumo es registrado por las oficinas administrativas, seguidas por las entidades (facultades, centros e institutos) de la investigación científica y por las aulas con laboratorio.

Por su parte, la calefacción, que es usada en pocas edificaciones de CU, representa un

mayor consumo de energía por parte de las entidades de la investigación científica.

Tabla 4.7 Calefacción en CU por tipología

	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máx.(kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Unidades médicas	1	31,277	8	8	0.028	877
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	8	8	0.617	54,868
Total						55,745

Tabla 4.8 Indicadores energéticos –Calefacción–

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie (kWh/m ²) año
Unidades médicas	0.24	0.03
Entidades de Investigación Científica	0.09	0.62
Promedio	0.17	0.33

4.1.4 Equipos de fuerza

El equipo de fuerza se refiere principalmente a motores, compresoras y bombas. Como se muestra en la Tabla 4.9 el mayor consumo para este uso lo registran las plantas de tratamiento, cuyos datos fueron proporcionados por la DGOC. Los datos de las otras tipologías fueron recabados por el levantamiento realizado.

Tabla 4.9 Equipo de fuerza en CU por tipología

Tipología	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Aulas con laboratorio	27,421	205	126.0	952	194,910
Biblioteca	16,968	22	22.4	1,964	43,956
Cafeterías y restaurantes	2,593	20	0.6	699	13,899
Laboratorios independientes	25,686	547	0.0	140	76,690
Oficinas administrativas	38,489	17	4.3	631	10,437
Talleres de conservación y mantenimiento	2,836	1	0.0	455	420
Unidades médicas	31,277	23	1.7	558	13,056
Entidades de Investigación Científica	88,997	160	43.2	660	105,783
Expendios exteriores	94	1	0.5	791	915
Plantas de tratamiento de agua		300	14.5	1,009	302,321
Pozos		3	3.2	3,221	10,531
Total					772,918

La Tabla 4.10 presenta los indicadores energéticos para este uso final, estimados también por unidad de superficie.

Tabla 4.10 Indicadores energéticos –Fuerza-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m²)	Consumo por superficie (kWh/m²/año)
Aulas con Laboratorio	7.5	7.1
Biblioteca	1.3	2.6
Cafeterías y Restaurantes	7.7	5.4
Laboratorios independientes	21.3	3.0
Oficinas administrativas	0.4	0.3
Talleres de conservación y mantenimiento	0.3	0.1
Unidades médicas	0.7	0.4
Investigación Científica	1.8	1.2
Expendios exteriores	12.3	9.7
Plantas de tratamiento de agua	-	-
Pozos	-	-
Promedio	5.92	3.31

4.1.5. Equipos de cómputo

La Tabla 4.11 presenta un resumen del consumo de energía del equipo de cómputo, así como los indicadores por académico y por superficie de construcción.

Tabla 4.11 Equipo de cómputo e indicadores

¿¿¿???	Espacio censado	Superficie m2	Potencia total instalada (kW)	Horas promedio de uso (hora/año)	Consumo kWh/año	Consumo por superficie kWh/m2 año
Aulas con Laboratorio	7	27,421	320	1,758	60,326	2.2
Entidades de Investigación en humanidades	3	33,631	320	1,758	16,816	0.5
Entidades de Investigación Científica	10	114,683	320	1,758	1,295,918	11.3
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	320	1,758	6,806	2.4
Oficinas	5	38,489	320	1,758	84,676	2.2
Cafeterías y Restaurantes	3	2,593	320	1,758	2,074	0.8
Unidades Médicas	1	20,102	320	1,758	56,286	2.8
Comercial (tienda UNAM)	1	12,831	320	1,758	32,078	2.5
Expendios exteriores (patronato)	10	94	320	1,758	7,234	77.0

4.1.6 Equipos misceláneos y especiales

Los equipos misceláneos agrupan a una variedad de equipos que no se usan para las actividades sustantivas de la Universidad, entre ellos se tiene por ejemplo, cafeteras, ventiladores, aspiradoras, equipos de sonido, etc. Por su parte, el equipo especial si es empleado directamente en las actividades sustantivas de la Universidad, pero es tal su diversidad y cantidad, que requiere ser agrupado en este uso final. Ejemplo de ellos son los tornos, autoclaves, agitadores, etc.

El resultado del levantamiento de estos equipos y sus indicadores se presentan en las Tablas 4.12 a 4.15.

Tabla 4.12 Equipos misceláneos en CU por tipología.

Tipología	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Aulas con laboratorio	7	27,421	60	1	234	14,083
Entidades de Investigación en Humanidades	3	33,631	7		199	1,336
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	658	217	690	453,860
Laboratorios independientes	2	25,686	16	10	1,696	26,729
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	27	13	719	19,474
Oficinas administrativas	5	38,489	3		298	1,019
Cafeterías y Restaurantes	3	2,593	67	30	1,227	82,694
Unidades médicas	1	31,277	64	23	665	42,273
Cines teatros y auditorios	1	5,988	8		395	3,317
Expendios exteriores	18	94	21	14	923	19,680
Total						664,465

Tabla 4.13 Indicadores energéticos –Equipos misceláneos–

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo (kWh/m ²) año
Aulas con Laboratorio	2.2	0.51
Entidades de Investigación en Humanidades	0.2	0.04
Entidades de Investigación Científica	7.4	5.10
Laboratorios independientes	0.6	1.04
Talleres de conservación y mantenimiento	9.6	6.87
Oficinas administrativas	0.1	0.03
Cafeterías y Restaurantes	26.0	31.90
Unidades médicas	2.0	1.35
Cines teatros y auditorios	1.4	0.55

Expendios exteriores	226.8	209.36
Promedio	27.63	25.68

Tabla 4.14 Equipos especiales en CU por tipología.

Tipología	Cantidad	Superficie (m ²)	Potencia total instalada (kW)	Demanda máxima (kW)	Horas promedio de uso /año	Consumo (kWh/año)
Aulas con Laboratorio	7	27,421	262	262	1,260	330,830
Cafeterías y Restaurantes	3	2,593	6	6	468	2,693
Laboratorios independientes	2	25,686	54	54	1,130	61,573
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	46	46	1,237	57,401
Unidades médicas	1	31,277	214	214	1,313	280,699
Investigación Científica	10	88,997	2,749	2,749	1,263	3,471,562
Expendios exteriores	10	94	3	3	539	1,706
Total						4,206,464

Tabla 4.15 Indicadores energéticos –Equipos especiales–

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie (kWh/m ² año)
Aulas con laboratorio	9.6	12.1
Cafeterías y restaurantes	2.2	1.0
Laboratorios independientes	2.1	2.4
Talleres de conservación y mantenimiento	16.4	20.2
Unidades médicas	6.8	9.0
Entidades de Investigación Científica	30.9	39.0
Expendios exteriores	33.7	18.2
Promedio	14.53	14.56

4.1.7 Comparación y suma total

En la literatura pueden encontrarse algunos indicadores de consumo de energía por unidad de superficie de centros educativos (CEC, 2006; EIA, 2003; LBL, 1998). Comparar estos indicadores con los resultados obtenidos por el presente estudio tiene problemas de incompatibilidad pues el consumo depende de las horas de uso anual y de usos que no necesariamente se contabilizaron en los otros estudios como por ejemplo la investigación científica. De allí que, la comparación se realiza exclusivamente para las tipologías similares que son: aulas, aulas con laboratorio, bibliotecas y oficinas administrativas.

Tabla 4.16. Comparación con indicadores de otros estudios para edificios escolares
(en kWh/m²/año)

	CEC ^A	Butala et al ^B	EIA ^C	Presente estudio
TOTAL	98.56		118.36	39.2
Iluminación interior	33.36	15.96	36.58	22.80
Iluminación exterior	10.54			15.56
Equipo de oficina*	10.98		10.76	1.63
Misceláneos	2.47		1.08	0.27
Refrigeración			5.38	6.48
Enfriamiento**	14.10		23.67	4.65

Fuente: A. California Energy Commission, 2006; B. Butala y Novak (1999). Energy Information Administration (2003).

*Se refiere a equipo de cómputo en el presente estudio y el de Energy Information Administration.

**Es el nombre otorgado al aire acondicionado en los otros estudios citados.

Como puede observarse, los indicadores del presente estudio son los más bajos, excepto para el caso de iluminación interior reportado por Butala y Novack (1999), el de iluminación exterior de la California Energy Commission (2006) y el de refrigeración reportado por la Energy Information Administration (2003).

La Tabla 4.17 muestra el resumen de estimación del consumo de electricidad por m² y el consumo total para las diferentes tipologías y usos finales.

Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU (1)

Tipología	Superficie m ²	Iluminación		Refrigeración	
		kWh/m ² año	kWh/año	kWh/m ² año	kWh/año
Aulas	291,660	31.39	9,155,586		
Aulas con Laboratorio	133,945	18.15	2,431,746	6.48	867,553
Biblioteca	52,190	36.56	1,908,051		
Entidades de Investigación en Humanidades	138,205	12.76	1,763,235		
Entidades de Investigación Científica	252,991	13.53	3,422,583	25.76	6,517,166
Laboratorios independientes	754	0.86	648	0.30	224
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	8.72	298,826	15.65	536,647
Oficinas administrativas	175,862	5.10	896,856		
Subtotal	1,079,894	18.41	19,877,530	7.34	7,921,590
Cafeterías y Restaurantes	9,690	22.78	220,740	26.32	255,012
Unidades médicas	20,102	5.75	115,537	1.50	30,229
Cines teatros y auditorios	43,731	18.32	801,341		
Museos	27,837	25.32	704,767		
TV UNAM	7,787	31.39	244,444		
Bomberos	460	18.15	8,351		
Comercial	12,831	25.32	324,851	10.59	135,936
Subtotal	122,438	19.77	2,420,030	3.44	421,176
Expendios exteriores	6,683	30.61	204,542	803.40	5,369,151
Estacionamientos y vialidades	895,150	4.92	4,400,054		
Campos deportivos	11,619	6.43	74,659		
Estadio	14,783	20.30	300,106		
Plantas de tratamiento					
Pozos					
Subtotal	928,235	5.36	4,979,360	5.78	5,369,151
Otros (diferencia con facturación)					
XXX	2,130,567	¿?	27,276,920	¿?	13,711,917

Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y categoría CU (2)

Tipología	Superficie m ²	Aire Acondicionado		Calefacción		Fuerza	
		kWh/m ² año	kWh/año	kWh/m ² año	kWh/año	kWh/m ² año	kWh/año
Aulas	291,660						
Aulas con laboratorio	133,945	3.93	526,837			7.1	952,091
Biblioteca	52,190	3.93	205,276			2.6	135,200
Entidades de Investigación en Humanidades	138,205	0.21	29,604	0.62	85,205		
Entidades de Investigación Científica	252,991	4.43	1,120,941	0.62	155,973	1.2	300,709
Laboratorios independientes	754	0.21	162	0.62	465	3	2,251
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	0.92	31,640			0.1	5,082
Oficinas administrativas	175,862	5.37	944,538	0.6	108,422	0.3	47,687
Subtotal	1,079,894	2.65	2,858,997	0.3	350,065	1.3	1,443,019
Cafeterías y Restaurantes	9,690	0.45	4,394			5.4	51,941
Unidades médicas	20,102	0.47	9,462	-	564	0.4	8,391
Cines teatros y auditorios	43,731	5.37	234,875				
Museos	27,837	5.37	149,510				
TV UNAM	7,787						
Bomberos	460						
Comercial	12,831	25.42	326,184				
Subtotal	122,438	5.59	724,425	-	564	0.5	60,332
Expendios exteriores	6,683					8.2	54,689
Estacionamientos y vialidades	895,150						
Campos deportivos	11,619						
Estadio	14,783						
Plantas de tratamiento							302,321
Pozos							10,531
Subtotal	928,235					0.4	367,541
Otros (diferencia con facturación)							
TOTAL	2,130,567	¿?	3,583,422	¿?	350,628	¿?	1,870,892

Tabla 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU (3)

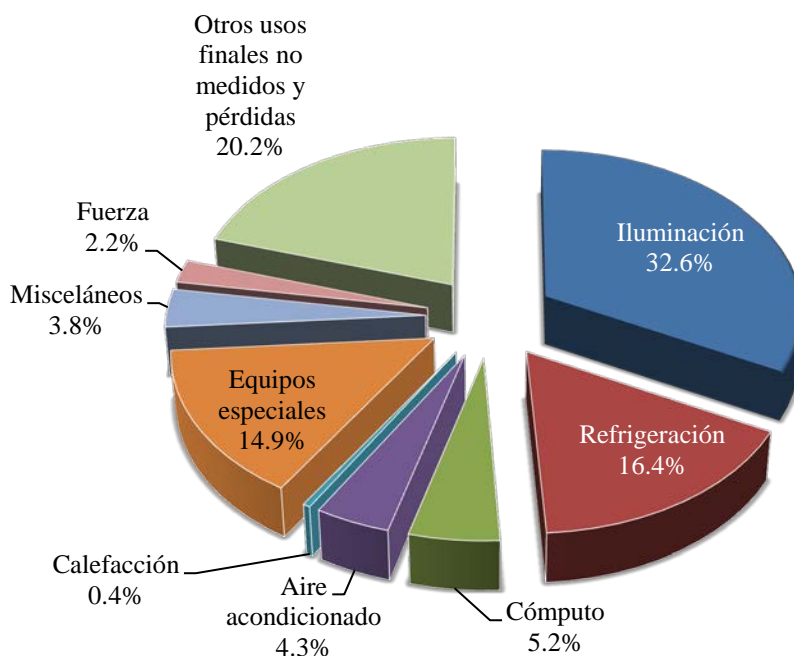
Tipología	Superficie m ²	Computación		Misceláneo		Especial		Total	
		kWh/m ² año	kWh/año	kWh / m ² año	kWh/año	kWh/m ² año	kWh/año	kWh/m ² año	kWh/año
Aulas	291,660							31.39	9,155,586
Aulas con Laboratorio	133,945	2.20	293,981	0.50	68,793	12.10	1,616,018	50.43	6,757,019
Biblioteca	52,190	0.50	26,173					43.56	2,274,700
Entidades de Investigación en Humanidades	138,205	0.50	69,308		5,490			14.06	1,952,842
Entidades de Investigación Científica	252,991	11.30	2,847,423	5.10	1,290,189	39.00	9,868,621	100.89	25,523,605
Laboratorios independientes	754	0.20	179	1.00	785	2.40	1,807	8.56	6,521
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	2.40	82,762	6.90	235,440	20.20	693,972	54.87	1,884,369
Oficinas administrativas	175,862	2.20	385,981		4,657			13.60	2,388,141
Subtotal	1,079,894	3.43	3,705,807	1.49	1,605,354	11.28	12,180,418	46.25	49,942,783
Cafeterías y Restaurantes	9,690	0.80	7,496	31.90	309,068	1.00	10,066	88.70	858,717
Unidades Médicas	20,102	2.80	56,188	1.40	27,169	9.00	180,408	21.35	427,948
Cines teatros y auditorios	43,731			0.60	24,224			24.32	1,060,440
Museos	27,837							30.72	854,277
TV UNAM	7,787							31.39	244,444
Bomberos	460							18.15	8,351
Comercial	12,831	2.50	31,968					63.81	818,939
Subtotal	122,438	0.78	95,652	2.94	360,461	1.56	190,474	34.90	4,273,116
Expendios exteriores	6,683	77.0	514,340	175.90	1,175,750	15.30	101,935	1110.41	7,420,407
Estacionamientos y vialidades	895,150							4.92	4,400,054
Campos deportivos	11,619							6.43	74,659
Estadio	14,783							20.30	300,106
Plantas de tratamiento								0.00	302,321
Pozos								0.00	10,531
Subtotal	928,235	0.55	514,340	1.27	1,175,750	0.11	101,935	13.48	12,508,078
Otros (diferencia con facturación)									16,848,558
TOTAL	2,130,567	¿?	4,315,799	¿?	3,141,565	¿?	12,472,827	39.23	83,572,535

La Tabla 4.17 es el resultado de la extrapolación realizada a través de la aplicación de los indicadores energéticos obtenidos de la auditoría Nivel 1, a las superficies totales por

tipología, así se obtiene un consumo total de electricidad para el año 2011 de 66,723,969 kWh (suma de los subtotales: 49,942,783 + 4,273,116 + 12,508,078)

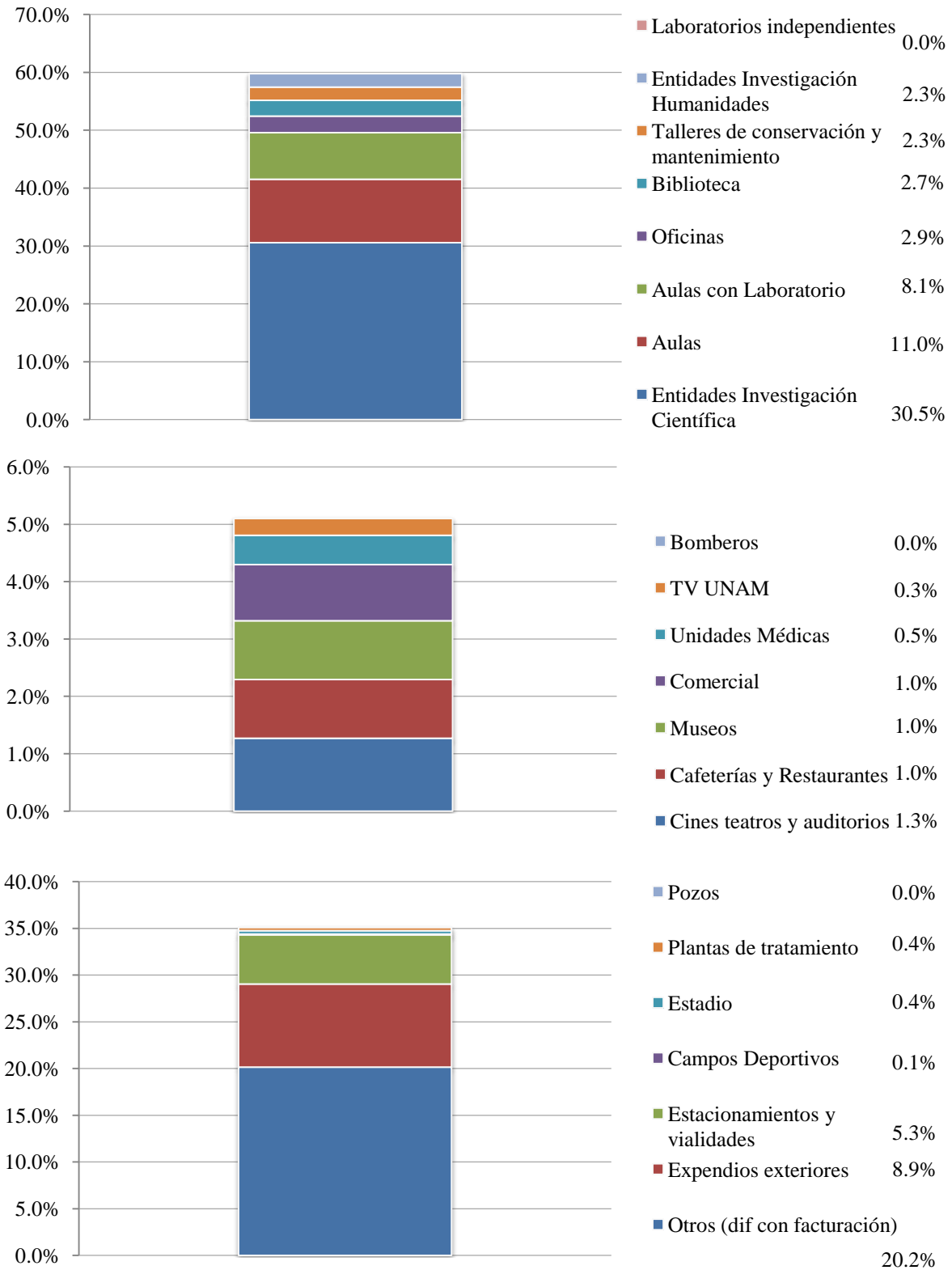
Sin embargo, el estimado de la facturación para el mismo año, es de 83,572,527 kWh. Esto significa que el consumo de energía eléctrica de Ciudad Universitaria estimado a través de este estudio resultó ser el 80% del facturado por CFE. Este resultado tiene cierta lógica dadas las características de la metodología utilizada. En la auditoría de primer nivel practicada, diversos equipos especiales para laboratorio no fueron contabilizados y probablemente el aire acondicionado esté subestimado por falta de información específica de dependencias como la Dirección General de Tecnologías de Información y Comunicación. Por otro lado, el sistema de distribución de electricidad incluye pérdidas que tampoco se contabilizan en este estudio. La diferencia del 20% entre la facturación y los resultados del presente estudio, se incorpora dentro de una tipología nueva que incluye “otros” que refiere a los equipos no incluidos o no medidos y las pérdidas por distribución. De esta forma, la iluminación representa el 32.6% del consumo, la refrigeración el 16.4%, los equipos de cómputo el 5.2%, el aire acondicionado el 4.3%, la calefacción, 0.4%, misceláneos 3.8%, especiales, 14.9%, fuerza, 2.2% y otros, 20.2% (Figura 4.1).

Figura 4.1 Consumo de electricidad por usos finales CU



La figura 4.2 presenta la participación de cada tipología en el consumo de electricidad. La agrupación en tres gráficas se debe a la alta dispersión de los resultados obtenidos, ya que van desde 0.01, consumo mínimo presentado por los Laboratorios independientes, por ejemplo, hasta el valor máximo de 30.5% de las entidades de la investigación científica.

Figura 4.2 Consumo de electricidad en CU por tipología de espacios.



4.2 Combustibles

4.2.1 Consumo de GLP

Como se explicó en el capítulo referente a la metodología, se solicitó información a las dependencias y entidades académicas de la UNAM con sede en CU, acerca del consumo de GLP. Se obtuvo la facturación de seis entidades académicas, además de la alberca, la Cafetería Azul y oro del Centro Cultural Universitario y de la Tienda UNAM. Por otro lado, se realizó un levantamiento de equipos de los principales servicios de regaderas. A partir de esta información se calculó un indicador por metro cuadrado por tipología (Tabla 4.18).

A partir de dicha información y de las superficies totales de las entidades y otros espacios, se hace una estimación del consumo total de GLP para el año 2011, la cual se presenta en la Tabla 4.19.

Tabla 4.18 Consumos de GLP e indicadores de la muestra

	m ²	Consumo de GLP (GJ/año)	Indicador MJ/m ²
Facultad de Ingeniería	51,469	413.8	8.04
Facultad de Medicina	41,414	1,424.0	34.38
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	31,834	3,767.2	118.34
Facultad de Odontología	17,163	158.6	9.24
Facultad de Química	55,176	1,810.0	32.80
Instituto de Ecología	4,725	80.9	17.12
Subtotal investigación y docencia	201,781	7,654.6	37.94
Cafetería Azul y oro CCU	638	444.4	696.60
Regaderas		194.4	
Tienda UNAM		184.3	
Alberca Olímpica		31,799.5	

Tabla 4.19 Estimación del consumo total de GLP en CU por tipología

	Total GLP (TJ/año)
Investigación y docencia*	14.70
Cafeterías y restaurantes	6.80
Regaderas	0.19
Tienda UNAM	0.18
Alberca	31.80
Total	53.67

* Los metros cuadrados totales corresponden a las tipologías aulas con laboratorio, laboratorios de entidades de investigación científica y laboratorios independientes.

4.2.2 Consumo de diesel para actividades diferentes al transporte

En CU se usa el diesel principalmente, para las plantas de emergencia y las regaderas, la Tabla 4.20 presenta la información obtenida acerca del consumo de este combustible por parte de las regaderas ubicadas en los talleres de conservación y mantenimiento y en las instalaciones de la Alberca Olímpica, así como el consumo de las plantas de emergencia de tres espacios diferentes. En dicha tabla se observa que el calentamiento de agua genera el mayor consumo de diesel. Se estima que las duchas se utilizan diariamente, mientras que las plantas de emergencia, se emplean una vez a la semana.

Tabla 4.20 Consumo de diesel en CU

	MJ/año
Talleres-duchas	1557.8
Estadio Olímpico, plantas de emergencia	317.7
Facultad de Medicina-plantas de emergencia	207.8
Centro Cultural Universitario-plantas de emergencia	81.9
Total	2,165.2

4.3 Inventario de emisiones de GEI

Las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía en CU para el año 2011 alcanzaron las 49.58 millones de toneladas de CO₂ eq. Para ponerlo en escala, estas emisiones representan el 0.01% de las emisiones nacionales y el 0.1% de las emisiones correspondientes al Distrito Federal. Como puede apreciarse en la Tabla 4.21, las emisiones de CO₂ representan el 99.7% de las emisiones totales.

Tabla 4.21 Emisiones de CO₂ eq. por fuente de energía en CU para 2011

	Consumo total	CO ₂ eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Electricidad (GWh)	83.57	46.03	45.88	2.1E-03	3.3E-04
GLP (GJ)	53.67	3.39	3.39	5.4E-05	5.4E-06
Diesel (GJ)	2.17	0.16	0.16	6.5E-06	1.3E-06
Total (Millones de t)		49.58	49.43	2.1E-03	3.4E-04

No incluye transporte. Potencial de calentamiento a 100 años de acuerdo con IPCC (2007). CH₄, 25 y N₂O, 298.

La Tabla 4.22 muestra las emisiones por fuente de energía y uso final. La iluminación interior es el uso final que genera mayores emisiones y en segundo lugar se ubica la refrigeración. El consumo de GLP para calentamiento de agua de la Alberca Olímpica produce casi la misma cantidad de emisiones que el aire acondicionado de todo CU.

Tabla 4.22 Emisiones de CO₂ por fuente de energía y uso final en CU

Fuente de energía / uso final	MtCO₂eq.
Electricidad	46.03
Iluminación interior	12.28
Iluminación exterior	2.74
Refrigeración	7.55
Aire acondicionado	1.97
Calefacción	0.19
Fuerza	1.03
Cómputo	2.38
Misceláneo	1.73
Especial	6.87
Otros	9.28
GLP	3.39
Laboratorios	0.93
Cafeterías y restaurantes	0.43
Regaderas	0.01
Tienda UNAM	0.01
Alberca	2.01
Diesel	0.16
Regaderas	0.12
Plantas de emergencia	0.05
Total	49.58

Una mayor desagregación de las emisiones por uso final y tipología se muestra en la Tabla 4.23. La mayor contribución la realiza el conjunto de entidades de la investigación científica, seguida por aulas y aulas con laboratorio. Por sí sola, la iluminación en las aulas representa el 10.2% de las emisiones de CO₂ eq. Destaca también el peso de los expendios exteriores que representan el 8.3% de las emisiones de CO₂ eq., y en particular la contribución por su consumo de energía para refrigeración. Por su parte, la iluminación en vialidades y estacionamientos representa el 4.9% de las emisiones.

Estas áreas con mayor consumo de energía y por tanto, mayores emisiones, constituyen los nichos de oportunidad para promover cambios orientados a la disminución de las emisiones.

Tabla 4.23 Contribución de emisiones de CO₂ eq. por tipología y uso final en CU (incluye electricidad GLP y diesel)

	Iluminación	Refrigeración	Aire Acondicionado	Calefacción	Fuerza	Cómputo	Especial	Misceláneo	Total
Aulas	10.2%								10.2%
Aulas con Laboratorio	2.7%	1.0%	0.6%		1.1%	0.3%	1.8%	0.1%	7.5%
Biblioteca	2.1%		0.2%		0.2%	0.0%			2.5%
Entidades de Investigación en Humanidades	2.0%		0.0%	0.1%		0.1%		0.0%	2.2%
Entidades de Investigación Científica	3.8%	7.3%	1.2%	0.2%	0.3%	3.2%	12.9%	1.4%	30.3%
Laboratorios independientes	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Talleres de conservación y mantenimiento	0.3%	0.6%	0.0%		0.0%	0.1%	0.8%	0.3%	2.1%
Oficinas administrativas	1.0%		1.1%	0.1%	0.1%	0.4%		0.0%	2.7%
Subtotal	22.2%	8.8%	3.2%	0.4%	1.6%	4.1%	15.5%	1.8%	57.6%
Cafeterías y Restaurantes	0.2%	0.3%	0.0%		0.1%	0.0%	0.9%	0.3%	1.8%
Unidades médicas	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.5%
Cines teatros y auditorios	0.9%		0.3%					0.0%	1.2%
Museos	0.8%		0.2%						1.0%
TV UNAM	0.3%								0.3%
Bomberos	0.0%								0.0%
Comercial	0.4%	0.2%	0.4%			0.0%	0.0%		0.9%
Subtotal	2.7%	0.5%	0.8%	0.0%	0.1%	0.1%	1.1%	0.4%	5.7%
Expendios exteriores	0.2%	6.0%			0.1%	0.6%	0.1%	1.3%	8.3%
Estacionamientos y vialidades	4.9%								4.9%
Campos deportivos	0.1%								0.1%
Estadio	0.3%								0.3%
Alberca y regaderas					4.3%				4.3%
Plantas de emergencia					0.1%				0.1%
Subtotal	5.6%	6.0%			4.5%	0.6%	0.1%	1.3%	18.0%
Otros									18.8%
TOTAL	30.4%	15.3%	4.0%	0.4%	6.2%	4.8%	16.7%	3.5%	100.0%

4.4 Análisis de incertidumbres

De acuerdo con la metodología del IPCC (2006b), la incertidumbre en los resultados depende de las características de la información y del factor de emisión utilizado. La Tabla 4.24 presenta las incertidumbres sugeridas por el IPCC para la actividad y los factores de emisión. La suma de las incertidumbres se hace como la raíz cuadrada de sus cuadrados.

Tabla 4.24 Incertidumbres en la información

	Estadísticas menos desarrolladas para actividad		Factores de emisión		
	Encuestas	Extrapolación	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Generación eléctrica	1-2%	5-10%	5%	50-150%	Orden de magnitud
Combustión comercial, institucional residencial	10-15%	15-25%	5%	50-150%	Orden de magnitud

Fuente: IPCC (2006b)

Tabla 4.25 Incertidumbre en las emisiones de gases efecto invernadero

Categorías	Gas	Emisiones año base	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada
		Datos de entrada Mt CO ₂ eq	Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %
Electricidad	CO ₂	45.88	17.5	5	18.20
GLP		3.39	17.5	5	18.20
Diesel		0.16	17.5	5	18.20
Electricidad	CH ₄	5.2E-02	17.5	100	101.52
GLP		1.3E-03	17.5	100	101.52
Diesel		1.6E-04	17.5	100	101.52
Electricidad	N ₂ O	1.0E-01	17.5	1000	1000.15
GLP		1.6E-03	17.5	1000	1000.15
Diesel		3.9E-04	17.5	1000	1000.15
Total		49.584			20.30

Incorporando el promedio de incertidumbres para extrapolación y factores de emisión, la Tabla 4.25 muestra la incertidumbre total en los resultados. El resultado final muestra que las emisiones de CO₂ eq de CU asociadas al consumo de energía en edificaciones y áreas exteriores para el año 2011 fue de **49.6 MtCO₂ eq ±20.3%**

4.5 Escenarios al 2020

4.5.1 Escenario base

Para estimar el consumo de energía y las emisiones de GEI del escenario base al 2020 se utiliza, tal y como se explica en el capítulo de metodología, el crecimiento esperado para CU de acuerdo con el plan rector (Tabla 4.26).

Tabla 4.26 Crecimiento esperado para CU de acuerdo con Plan Rector

Áreas	Superficie (m ²)
Académicas	13,200
Deportivas	179,500
Servicios y Apoyo	121,900
Difusión Cultural	12200
Total	326,800

No es claro por qué se tiene planeado mayor crecimiento de los Servicios y Apoyo que de las áreas académicas, por esta razón se estiman dos escenarios base. El primero asume el crecimiento señalado en el Plan Rector y el segundo asigna el crecimiento de las áreas de Servicios y Apoyo, a las áreas académicas, lo cual resulta más adecuado a las funciones sustantivas de la UNAM. Los escenarios base suponen que los indicadores energéticos permanecen constantes, es decir el consumo de energía por unidad de superficie (energía/m²) es el mismo en 2020 que en el 2011.

Para unificar las áreas establecidas por el Plan Rector y las tipologías utilizadas en este estudio, se supone que las áreas académicas incluyen aulas, aulas con laboratorio, bibliotecas, entidades de investigación en humanidades, entidades de investigación científica y laboratorios independientes. Las áreas deportivas corresponden a la tipología Campos deportivos. En los Servicios y Apoyo se consideran las oficinas administrativas, talleres de conservación y mantenimiento, cafeterías y restaurantes y unidades médicas. En Difusión cultural se consideran los museos, cines, teatros y auditorios.

La Tabla 4.27, cuya zona sombreada refiere las tipologías para las cuales el Plan Rector proyecta un crecimiento, es la plataforma para la construcción de los escenarios base y se elaboró bajo el supuesto de mantener constante al 2020 la estructura o participación actual de las superficies de cada tipología respecto a las áreas definidas por el Plan Rector. Así, la superficie de aulas al 2020 será como en 2011, el 33.5% de las áreas académicas totales proyectadas por el Plan Rector.

Tabla 4.27 Superficie construida y proyectada al 2020 por el Plan Rector (m²)

Tipología según Plan Rector	Superficie construida 2011	Participación en 2011 (respecto al subtotal de su tipología)	Superficie a construir 2020	
			Escenario base (1)	Escenario base (2)
Aulas	291,660	33.5%	126,171	336,964
Aulas con Laboratorio	133,945	15.4%	135,978	154,751
Biblioteca	52,190	6.0%	52,982	60,297
Entidades de Investigación en Humanidades	138,205	15.9%	140,303	159,673
Entidades de Investigación Científica	252,991	29.1%	256,831	292,289
Laboratorios independientes	754	0.1%	765	871
Total Áreas académicas	869,745	100.0%	882,945	1,004,845
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	14.3%	51,706	34,287
Oficinas	175,862	73.3%	37,516	175,862
Cafeterías y Restaurantes	9,690	4.0%	1,316	9,690
Unidades Médicas	20,102	8.4%	7,018	20,102
Total apoyo y servicios	239,941	100.0%	361,841	239,941
Cines teatros y auditorios	43,731	61.1%	51,186	51,186
Museos	27,837	38.9%	32,582	32,582
Subtotal difusión	71,568	100.0%	83,768	83,768
Campos Deportivos	11,619	100.0%	191,119	191,119
TV UNAM	7,787		7,787	7,787
Bomberos	460		460	460
Comercial	12,831		12,831	12,831
Expendios exteriores	6,683		6,683	6,683
Estacionamientos y vialidades	895,150		895,150	895,150
Estadio	14,783		14,783	14,783
TOTAL	2,130,567		2,457,367	2,457,367

Las Tablas 4.28 y 4.29 presentan los indicadores eléctricos y para GLP y diesel reagrupados en función de las tipologías consideradas por el Plan Rector.

La Tabla 4.28 abarca todas las tipologías que se encuentran en la UNAM, de algunas no se obtuvo información de campo, pero de la literatura se sabe que son las de menor consumo, por lo que sus respectivos indicadores se asumen similares a los de otras tipologías de bajo consumo.

Tabla 4.28 Indicadores energéticos para energía eléctrica por tipología (kWh/m²)

Tipología	Iluminación	Refrigeración	Aire Acondicionado	Calefacción	Fuerza	Cómputo	Misceláneos	Especial	Total
Aulas	31.4								31.4
Aulas con Laboratorio	18.2	6.5	3.9		7.1	2.2	0.5	12.1	50.4
Biblioteca	36.6		3.9		2.6	0.5			43.6
Entidades de Investigación en Humanidades	12.8		0.2	0.6		0.5	0.0		14.1
Entidades de Investigación Científica	13.5	25.8	4.4	0.6	1.2	11.3	5.1	39.0	100.9
Laboratorios independientes	0.9	0.3	0.2	0.6	3.0	0.2	1.0	2.4	8.6
Total áreas académicas	21.5	8.5	2.2	0.3	1.6	3.7	1.6	13.2	52.5
Talleres de conservación y mantenimiento	8.7	15.7	0.9		0.1	2.4	6.9	20.2	55.0
Oficinas administrativas	5.1		5.4	0.6	0.3	2.2	0.0		13.6
Cafeterías y Restaurantes	22.8	26.3	0.5		5.4	0.8	31.9	1.0	88.6
Unidades médicas	5.7	1.5	0.5	0.0	0.4	2.8	1.4	9.0	21.3
Total apoyo y servicios	6.4	3.4	4.1	0.5	0.5	2.2	2.4	3.7	23.2
Cines, teatros y auditorios	18.3		5.4				0.6		24.2
Museos*	25.3		5.4						30.7
Subtotal	21.0		5.4				0.3		26.8
Campos deportivos	6.4								6.4
TV UNAM*	31.4								31.4
Bomberos*	18.2								18.2
Comercial	25.3	10.6	25.4			2.5			63.8
Expendios exteriores	30.6	803.4			8.2	77.0	175.9	15.3	1,110.3
Estacionamientos y vialidades	4.9								4.9
Estadio	20.3								20.3
Otros (diferencia con facturación)									14.3
TOTAL									39.2

* Para estas tipologías, que son de menor consumo y de las cuales no se obtuvo información de la muestra, se asume el consumo por superficie de otras tipologías.

Tabla 4.29 Indicadores de GLP y diesel por tipología (MJ/m²)

	GLP MJ/m ²	Diesel MJ/m ²
Investigación y docencia	37.92	
Cafeterías y restaurantes	701.75	
Campos deportivos y talleres	4.14	0.034
Tienda UNAM	14.03	
Alberca	31800	
Estadio olímpico, plantas de emergencia		0.021
Medicina-plantas de emergencia		0.010
Centro cultural-plantas de emergencia		0.001

La Tabla 4.30 muestra el incremento esperado en el consumo por fuente de energía, para cada escenario. Las emisiones estimadas para ese incremento del consumo se presentan en la Tabla 4.31 por uso final y fuente de energía.

Tabla 4.30 Estimación del consumo de energía para escenarios base

	2011	2020(1)	2020(2)
Electricidad (GWh)	83.57	91.15	94.73
Iluminación interior	22.30	23.62	25.46
Iluminación exterior	4.98	6.13	6.13
Refrigeración	13.71	14.24	14.86
Computación	4.32	4.64	4.82
Aire acondicionado	3.58	4.18	3.94
Calefacción	0.35	0.41	0.39
Misceláneo	3.14	3.46	3.36
Fuerza	1.87	1.95	2.09
Especial	12.47	13.10	14.26
Otros	16.85	19.43	19.43
GLP (TJ)	53.67	58.16	56.70
Laboratorios	14.70	14.92	16.98
Cafeterías y restaurantes	6.80	10.25	6.80
Regaderas	0.19	1.01	0.93
Tienda UNAM	0.18	0.18	0.18
Alberca	31.80	31.80	31.80
Diesel (TJ)	2.2E-03	9.0E-03	8.3E-03
Regaderas	1.6E-03	8.2E-03	7.6E-03
Plantas de emergencia	6.1E-04	7.3E-04	6.2E-04
Total (TJ)	354.5	386.3	397.7

Las emisiones del primer escenario base 2020(1) que considera el crecimiento de las áreas de acuerdo al Plan Rector, alcanzarán 58.9 MtCO₂eq., 18.8% mayor respecto a las emisiones del 2011. En el segundo escenario base 2020(2), que considera mayor crecimiento de las áreas académicas, incluidos institutos de investigación, las emisiones serán de 60.6 MtCO₂eq., lo que representa un incremento del 22.2% respecto al 2011.

Tabla 4.31 Estimación del emisiones de CO₂ eq para escenarios base (MtCO₂eq.)

	2011	2020(1)	2020(2)
Electricidad	46.03	50.21	52.18
Iluminación interior	12.28	13.01	14.02
Iluminación exterior	2.74	3.38	3.38
Refrigeración	7.55	7.84	8.18
Computación	2.38	2.55	2.65
Aire acondicionado	1.97	2.30	2.17
Calefacción	0.19	0.23	0.21
Misceláneo	1.73	1.91	1.85
Fuerza	1.03	1.07	1.15
Especial	6.87	7.21	7.85
Otros	9.28	10.70	10.70
GLP	3.39	3.67	3.58
Laboratorios	0.93	0.94	1.07
Cafeterías y restaurantes	0.43	0.65	0.43
Regaderas	0.01	0.06	0.06
Tienda UNAM	0.01	0.01	0.01
Alberca	2.01	2.01	2.01
Diesel (GJ)	0.16	0.67	0.61
Duchas	0.12	0.61	0.57
Plantas de emergencia	0.05	0.05	0.05
Total (GJ)	49.58	58.89	60.57

4.5.2 Escenarios de mitigación

Los escenarios de mitigación buscan reducir las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía fósil, a través de un uso eficiente de la energía que puede darse por diferentes vías, o por el uso de fuentes renovables de energía.

Según la metodología seguida en este trabajo, los escenarios de mitigación consideran escenarios tecnológicos, es decir, suponen cambios de la tecnología convencional (usada tradicionalmente) por otra tecnología que haga un uso más eficiente de la energía para los diferentes usos finales o por tecnología renovable, como es el caso de la energía solar para el calentamiento de agua para la alberca y las regaderas.

En particular para este estudio, se establecen escenarios de mitigación para los usos de iluminación interior, aire acondicionado, refrigeración y calentamiento de agua para regaderas y alberca. Para los demás usos el equipamiento es tan disperso (misceláneos) o específico (equipos especiales) que se requeriría un estudio muy detallado que busque establecer los ahorros por cambios tecnológicos.

Dentro de los escenarios de mitigación expuestos más adelante, no se incluye la iluminación exterior, debido a que recientemente la UNAM llevó a cabo un cambio en la mayor parte de las luminarias exteriores de vialidades y estacionamientos de CU con el fin

de ahorrar energía eléctrica. Así se sustituyeron lámparas de vapor de sodio de alta presión (V.S.A.P) de luz amarilla, por una nueva generación de lámparas de halogenuros metálicos cerámicos compactas que ofrece una luz blanca cálida de gran calidad y que de acuerdo con datos de la DGOC, generaron un ahorro aproximado de 1 GWh/año y \$800 mil pesos anuales (DGOC, 2010b).

De acuerdo con el levantamiento de la muestra, las tecnologías para iluminación interior que actualmente se utilizan en CU son diversas. La Tabla 4.32 las presenta. En la misma tabla se establece el equipo o tecnología con el que se sugiere la sustitución para elaborar los escenarios de mitigación y los consumos por mes para cada tecnología.

Tabla 4.32 Tecnología de iluminación actual y sugerida en el escenario de mitigación

Equipo actual	Porcentaje	Consumo (kWh/mes) en operación*	Equipo sugerido para escenario de mitigación	Consumo (kWh/mes) en operación*
Dicroico (DIC)	2.36%	8.3	LED 4 W	5
Aditivos Metálicos (AM)	0.28%	50.8	AM	46
Halógena	0.05%	22.7	HAL	22.7
Incandescente	5.94%	13.4	LCF	2.3
IQZ	0.15%	19.2	AM	7.2
LED	0.84%	1.2	LED	1.2
Lámpara Compacta Fluorescente (LCF)	12.43%	4.4	LCF	4.4
Otros	0.06%	9.1	Otros	9.1
T12	51.17%	17.3	T8	12.11
T5	4.00%	9.5	T5	9.5
T8	20.27%	9.0	T8	9.0
Vapor de Mercurio	0.08%	16.2	AM	10.4
Vapor de Sodio de Alta Presión (V.S.A.P.)	2.38%	85.6	VSAP	85.6
Consumo unitario promedio mensual (promedio pesado)		14.84		11.42

En CU el 51% de las luminarias siguen siendo T12 que corresponden a los tubos fluorescentes convencionales. Con una sustitución o *retrofit* menor, que comprende el cambio de balastro y tubos, por arreglos T8 con balastro electrónico, el consumo disminuye en 30% por cada arreglo (FIDE, 2010).

Se usó un promedio pesado por el porcentaje de equipos instalados, para calcular el consumo unitario promedio mensual de la tecnología existente para iluminación interior, que resultó de 14.84 kWh/mes. Este consumo podría disminuir un 23% que lo ubicaría en 11.42 kWh/mes.

Para los edificios nuevos se considera la instalación de luminarias T5, cuyo ahorro alcanza el 45% respecto a la tecnología T12 (FIDE, 2010). El ahorro en iluminación interior se presenta en las tipologías que corresponden a las áreas académicas, talleres de conservación

y mantenimiento y oficinas administrativas y sólo para el porcentaje de edificios que presentaron iluminación convencional.

Por su parte, la sustitución de refrigeradores por equipo más eficientes, sólo se propuso para los equipos instalados en expendios exteriores, ya que no se tiene información de cantidad, edad de los equipos ni de sus usos en otras tipologías de espacios de CU. El ahorro promedio alcanzado por la sustitución de este tipo de equipos es del 30% (FIDE, 2010).

Para computadoras, se estima que para el año 2020, puede alcanzarse un ahorro promedio tanto de los equipos instalados como de los nuevos del 50%. Una computadora de pantalla plana consume hasta 70% menos que una de cinescopio (FIDE, 2010).

En el caso del aire acondicionado se asume un ahorro promedio de 30% por la sustitución de equipos instalados. Esto se sustenta en la eficiencia de los equipos en el mercado actual (FIDE, 2010).

Los indicadores de consumo de energía por superficie, aplicando los ahorros por sustitución de equipo se presentan en la Tabla 4.33.

Tabla 4.33 Indicadores para consumo de electricidad utilizados en los escenarios de mitigación

	Iluminación kWh/m ² / año		Refrigeración kWh/m ² / año		AA kWh/m ² año		Cómputo kWh/m ² / año	
	Retrofit	Nuevo	Retrofit	Nuevo	Retrofit	Nuevo	Retrofit	Nuevo
Aulas	25.11	17.27						
Aulas con Laboratorio	14.52	9.99	6.48	6.48	3.23	3.23	1.1	1.1
Biblioteca	29.25	20.11			3.23	3.23	0.25	0.25
Entidades								
Investigación en Humanidades	10.21	7.02			0.18	0.18	0.25	0.25
Entidades								
Investigación Científica	11.2	7.44	25.76	25.76	3.63	3.63	5.63	5.63
Laboratorios independientes	0.71	0.47	0.3	0.3	0.18	0.18	0.12	0.12
Talleres de conservación y mantenimiento	7.21	7.21	15.65	15.65	0.76	0.76	1.21	1.21
Oficinas administrativas	4.22	4.22			4.4	4.4	1.1	1.1
Cafeterías y Restaurantes	22.78	22.78	26.32	26.32	0.37	0.37	0.39	0.39
Unidades médicas	5.75	5.75	1.5	1.5	0.39	0.39	1.4	1.4
Cines teatros y auditorios	18.32	18.32			4.4	4.4		
Museos	25.32	25.32			4.4	4.4		
TV UNAM	31.39	31.39						
Bomberos	18.15	18.15						
Tienda UNAM	25.32	25.32						
Expendios exteriores	30.61	30.61	562.38	562.38			38.48	38.48

Para el consumo de GLP y diesel, el escenario de mitigación considera la incorporación de calentadores híbridos, solar-GLP para las regaderas y solar-eléctrico-GLP para la alberca olímpica de CU. Para las regaderas de GLP el ahorro se considera modestamente del 30% (supuesto en la Norma de calentadores del GDF). Para las regaderas de diesel se considera sustitución de diesel por GLP y un ahorro modesto del 30%. Para la Alberca Olímpica de CU se elaboraron varias opciones que se presentan en el anexo 5, con base en un estudio desarrollado por el PAE-FI, la opción de mitigación elegida comprende la instalación de 950 celdas solares y 20 bombas de calor y el uso de las calderas actuales como respaldo.

La Tabla 4.34 muestra los ahorros de energía derivados del cambio de equipo en los edificios y áreas existentes (*retrofit*) para el año base, así como las sustituciones para el agregado de lo construido actualmente y lo propuesto (considerando el crecimiento de las áreas del escenario base). Para el *retrofit*, el ahorro de energía eléctrica total es del 8%, el cual proviene de un ahorro en iluminación interior del 12%, en refrigeración del 12%, en computación del 50% y en aire acondicionado del 25%.

Tabla 4.34 Consumo de energía para los escenarios de mitigación

	2011	Retrofit	Nuevos 2020 (1)*	Nuevos 2020 (2)*
Electricidad (GWh)	83.57	77.01	84.09	84.86
Iluminación interior	22.30	19.60	20.69	21.46
Iluminación exterior	4.98	4.98	6.13	6.13
Refrigeración	13.71	12.10	12.63	12.631
Computación	4.32	2.14	2.30	2.302
Aire acondicionado	3.58	2.67	3.16	3.161
Calefacción	0.35	0.35	0.41	0.410
Misceláneo	3.14	3.14	3.46	3.459
Fuerza	1.87	1.87	1.95	1.949
Especial	12.47	12.47	13.10	13.096
Otros	16.85	16.85	19.43	19.433
Bombas de calor alberca		0.83	0.83	0.83
GLP (TJ)	53.67	29.58	29.58	29.58
Laboratorios	14.70	14.92	14.92	14.92
Cafeterías y restaurantes	6.80	10.25	10.25	10.25
Regaderas	0.19	0.13	0.13	0.13
Tienda UNAM	0.18	0.18	0.18	0.18
Alberca	31.80	4.09	4.09	4.09
Diesel (TJ)	2.2E-03	2.2E-03	2.2E-03	2.2E-03
Regaderas	8.2E-05			
Plantas de emergencia	2.2E-03	2.2E-03	2.2E-03	2.2E-03
Total (TJ)	354.53	306.81	332.30	335.06

* Incluye retrofit en edificios existentes y en edificaciones proyectadas por el Plan Rector.

1GWh = 3600 GJ

En GLP el ahorro es del 45%, el cual se deriva de un ahorro del 30% en regaderas y 87% en la alberca. En diesel el ahorro es de 4% el cual proviene de la sustitución total del uso de diesel para calentamiento de agua por un sistema híbrido solar-GLP. El ahorro de energía total por *retrofit* es del 13%.

Los escenarios para el año 2020 muestran un decremento en el consumo de energía si se hace la sustitución de equipos en los edificios existentes y se instalan tecnologías más eficientes en las nuevas edificaciones. La reducción total del consumo de energía en el año 2020 para el primer caso es de 6% (de 354.53 TJ a 332.3 TJ) y en el segundo es de 5% (de 354.53 TJ a 335.06 TJ). En el escenario 2020 (2) el consumo de energía es mayor porque se considera que crecen más las áreas académicas respecto a los servicios de apoyo.

La Tabla 4.35 muestra las emisiones de CO₂eq. en el caso de sustitución de equipos en las edificaciones actuales (*retrofit*). La reducción es de 5.3 MtCO₂eq. y representa un 10.7% menos que el año base. Al comparar estos resultados con los de la tabla 4.34 se puede verificar que es menor la reducción en emisiones que en energía, debido al uso de bombas de calor en la alberca.⁶

Tabla 4.35 Mitigación de CO₂eq derivada de cambio de equipos en edificaciones existentes (*retrofit*) en CU

	2011	Retrofit	Reducción (%)
Electricidad	46.03	42.42	-7.9%
Iluminación interior	12.28	10.80	-12.1%
Iluminación exterior	2.74	2.74	-
Refrigeración	7.55	6.67	-11.7%
Computación	2.38	1.18	-50.4%
Aire acondicionado	1.97	1.47	-25.5%
Calefacción	0.19	0.19	-
Misceláneo	1.73	1.73	-
Fuerza	1.03	1.03	-
Especial	6.87	6.87	-
Otros	9.28	9.28	-
Bombas de calor alberca		0.45	-
GLP	3.39	1.87	-44.9%
Laboratorios	0.93	0.94	1.5%
Cafeterías y restaurantes	0.43	0.65	50.8%
Regaderas	0.01	0.01	-30.0%
Tienda UNAM	0.01	0.01	-
Alberca	2.01	0.26	-87.1%
Diesel	1.6E-01	1.6E-04	-99.9%
Regaderas	1.2E-01		-100.0%
Plantas de emergencia	4.5E-02	1.6E-04	-99.6%
Total (TJ)	49.58	44.29	-10.7%

⁶ La opción de mitigación elegida para la Alberca Olímpica (Anexo 5) es la de menores emisiones y costos, aun así, el total el ahorro de energía es mayor que las emisiones porque el factor de emisión eléctrico es mayor que el de GLP.

La Tabla 4.36 presenta las emisiones de CO₂eq. de los escenarios base y de mitigación. La reducción para el primer caso (crecimiento como establece el Plan Rector) es del 2% con respecto al 2011 y de 10.9% respecto del escenario base. En el segundo caso (más áreas académicas que servicios de apoyo), la reducción es de 1.9% respecto al año base (2011) y de 13.7% respecto al escenario base con iguales consideraciones de mitigación.

Tabla 4.36 Escenarios base y de mitigación de CO₂eq. en CU

	Escenario (1)				Escenario (2)			
	2011	Base 2020	Mitigación 2020	% Reducción	Base 2020	Mitigación 2020	% Reducción	Retrofit
Electricidad	46.03	50.21	46.69	-7.0%	52.18	46.74	-10.4%	42.42
Iluminación interior	12.28	13.01	11.40	-12.4%	14.02	11.82	-15.7%	10.80
Iluminación exterior	2.74	3.38	3.38		3.38	3.38		2.74
Refrigeración	7.55	7.84	6.96	-11.3%	8.18	6.96	-15.0%	6.67
Computación	2.38	2.55	1.27	-50.3%	2.65	1.27	-52.2%	1.18
Aire acondicionado	1.97	2.30	1.74	-24.4%	2.17	1.74	-19.8%	1.47
Calefacción	0.19	0.23	0.23		0.21	0.23	5.5%	0.19
Misceláneo	1.73	1.91	1.91		1.85	1.91	3.0%	1.73
Fuerza	1.03	1.07	1.07		1.15	1.07	-6.6%	1.03
Especial	6.87	7.21	7.21		7.85	7.21	-8.1%	6.87
Otros	9.28	10.70	10.70		10.70	10.70		9.28
Alberca -Bombas de calor-			0.83			0.45		0.45
GLP	3.39	3.67	1.87	-49.1%	3.58	1.87	-47.8%	1.87
Laboratorios	0.93	0.94	0.94	0.0%	1.07	0.94	-12.1%	0.94
Cafeterías y restaurantes	0.43	0.65	0.65	0.0%	0.43	0.65	50.8%	0.65
Regaderas	0.01	0.06	0.01	-86.8%	0.06	0.01	-85.7%	0.01
Tienda UNAM	0.01	0.01	0.01	0.0%	0.01	0.01	0.0%	0.01
Alberca	2.01	2.01	0.26	-87.1%	2.01	0.26	-87.1%	0.26
Diesel	0.16	0.67	0.05	-93.1%	0.61	0.05	-92.5%	1.6E-04
Regaderas	0.12	0.61		-100.0%	0.57		-100.0%	
Plantas de emergencia	0.05	0.05	0.05	-14.5%	0.05	0.05		1.6E-04
Total (TJ)	49.58	54.55	48.60	-10.9%	56.37	48.65	-13.7%	154.57
Porcentaje de reducción respecto a año base				2.0%			1.9%	

5. Conclusiones

En el año 2011, el consumo de energía eléctrica en la Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) de acuerdo con la facturación ascendió a 83.57 GWh.

La realización de una auditoría energética de primer nivel en una muestra representativa de edificaciones y áreas exteriores permitió descomponer este consumo como sigue (Figura 4.1): la iluminación representa el 32.6% del total, mientras que la refrigeración es el 16.4%, el 14.9% lo consumen los equipos especiales que se usan en los laboratorios de docencia e investigación, el 5.2% es el consumo del equipo de cómputo, el de aire acondicionado representa el 4.3%, los equipos misceláneos el 3.8%, los equipos de fuerza un 2.2%, la calefacción es del 0.4% y el 20.2% restante corresponde a las tipologías no consideradas y las pérdidas por distribución.

También se puede descomponer ese consumo total por tipo de espacio (Figura 4.2), así los consumos más significativos corresponden en primer lugar, a las entidades (centros, institutos y facultades) de la investigación científica con el 30.5%, seguidas por las aulas con el 11.0% del consumo total, los expendios exteriores con el 8.9%, el 8.1% es el consumo de las aulas con laboratorio y el 5.3% corresponde a estacionamientos y vialidades.

La estimación del consumo de GLP (Tabla 4.19) para el año 2011 arroja un aproximado de 53.7 TJ, de los cuales el 59.3% corresponde al calentamiento de agua para la Alberca Olímpica, el 24.7% a las entidades de investigación científica, las cafeterías y restaurantes consumen el 12.7%, el 0.4% es el consumo de las regaderas y el 0.3% el comercial, representado por la Tienda UNAM (no se logró tener información del GLP que se utiliza en expendios exteriores). La estimación de consumo de diesel (Tabla 4.20) diferente al transporte es de 0.02 TJ, de los cuales 71.9% corresponde a regaderas y 28.1% a plantas de emergencia.

Los indicadores de consumo de energía por metro cuadrado para cada tipología pueden apreciarse en el capítulo de resultados (Tabla 4.28 y 4.29). Destaca el valor del indicador de potencia de iluminación por metro cuadrado de las aulas de docencia (16.7 kW/m^2) que supera el valor permitido por la Norma Oficial Mexicana *NOM-007-ENER-2004 de Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales* (16 kW/m^2).

Las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía en CU (Tabla 4.30) para el año 2011 alcanzaron las 49.58 millones de toneladas de CO_2 eq, con una incertidumbre producto de la extrapolación en la obtención de datos y los factores de emisión del 20.3%. Para ponerlo en escala, estas emisiones representan el 0.01% de las emisiones nacionales y el 0.1% de las emisiones correspondientes al Distrito Federal. Las emisiones de CO_2

representan el 99.7% de las emisiones totales y el resto es CH₄ y N₂O. Las emisiones relacionadas con el consumo de energía eléctrica representan el 92.9%, seguidas por las emisiones por la combustión de GLP y del diesel con 6.8% y 0.3% respectivamente.

Incluyendo estas tres fuentes de energía, las emisiones de CO₂eq. por usos finales (Tabla 4.22) se componen de la siguiente forma: la iluminación interior emite el 24.8% del total; la refrigeración emite un 15.2%, los equipos especiales un 13.9%, la iluminación exterior contribuye con el 5.5%, el equipo de cómputo emite el 4.8%, mientras que calentar el agua de regaderas y la Alberca genera el 4.3% de las emisiones totales, el uso de aire acondicionado emite el 4.0%, los equipos misceláneos generan un 3.5%, los equipos de fuerza (principalmente bombeo) producen un 2.1%, la quema de GLP en cafeterías y restaurantes genera un 0.9%, los equipos de calefacción producen un 0.4%, las plantas de emergencia representan el 0.1% y las otras tipologías más las pérdidas por distribución general el 18.7% de las emisiones totales.

Por su parte, las tipologías de espacios (Tabla 4.23) con mayor contribución a las emisiones se relaciona con el uso de electricidad y GLP por parte de las entidades de investigación científica que representa el 30.3% de las emisiones de GEI, seguido por el 10.2% generado por el uso de electricidad en las aulas. En tercer lugar se ubicó a los expendios exteriores con el 8.3 de las emisiones de GEI, en cuarto lugar se encuentran las aulas con laboratorio con el 7.5%. La iluminación para vialidades y estacionamientos representa el 4.9% de las emisiones, mientras que la Alberca y regaderas emiten el 4.3% del total de GEI por el calentamiento de agua.

El Plan Rector para Ciudad Universitaria elaborado en 2011 por la DGOC planea un incremento en los espacios de CU de 13,200 m² para áreas académicas, 12,200 m² para difusión cultural, 121,900 m² para áreas de apoyo y 179,500 m² para campos deportivos (Tabla 4.26).

Debido al crecimiento tan alto de las áreas de apoyo se decidió calcular las emisiones de GEI para dos escenarios base, el primero asume el crecimiento de la superficie de construcción propuesto por el Plan Rector, el segundo supone que el crecimiento planeado para las áreas de apoyo se destina a áreas académicas.

Para el primer escenario base 2020(1) que considera el crecimiento de las áreas de acuerdo al Plan Rector, las emisiones alcanzarán 54.55 MtCO₂eq., 10% mayor respecto a las emisiones del 2011. En el segundo escenario base 2020(2), que considera mayor crecimiento de las áreas académicas, incluidos institutos de investigación, las emisiones representan 13.7% más que en 2011 lo que implica que las emisiones lleguen a 56.37 MtCO₂eq. (Tabla 4.31).

Los escenarios de mitigación buscan reducir el consumo de energía y por tanto las emisiones asociadas de GEI. En particular para este estudio, se calcularon escenarios de mitigación por sustitución de tecnología para los usos finales de iluminación interior, aire

acondicionado, refrigeración y calentamiento de agua para regaderas y alberca. Para los demás usos el equipamiento es tan disperso (misceláneos) o específico (equipos especiales) que se requeriría un estudio más detallado para lograr establecer los ahorros por cambios tecnológicos.

Para el caso de sustitución de equipos en edificaciones existentes (*retrofit*), la reducción de emisiones de GEI alcanza las 5.3 MtCO₂eq., que corresponden al 10.7% de las emisiones de 2011. La reducción para los escenarios de mitigación muestra en el primer caso, (crecimiento como establece el Plan Rector) 2.0% de reducción con respecto al 2011 y 10.9% respecto del escenario base. En el segundo caso (más áreas académicas que servicios de apoyo), la reducción es de 1.9% respecto al año base (2011) y de 13.7% respecto al escenario base (ver Tabla 4.36).

La mitigación más importante de GEI proviene de la iluminación interior que considera sustituir todos los arreglos de tubos fluorescentes T12 por T8 y la instalación en nuevos edificios de arreglos T5. La reducción siguiente proviene de la instalación de calentadores solares y bombas de calor en la alberca de CU. La tercera reducción más significativa se deriva de sustituir las computadoras de cinescopio por pantallas planas y el cuarto, de la sustitución de los refrigeradores de expendios exteriores por equipos más eficientes. Esto puede apreciarse en las diferencias entre los escenarios de mitigación y los escenarios base para cada categoría (Tabla 4.36). Estas sustituciones han probado ser económicamente rentables lo cual puede corroborarse en estudios de FIDE y diversos estudios nacionales.

6. Comentarios y recomendaciones

Con el fin de reducir los consumos de energía eléctrica, GLP y diesel y con ello disminuir las emisiones de GEI se sugiere:

1. Sustituir los arreglos de tubos fluorescentes T12, en particular en aulas y aulas con laboratorio, por arreglos de tubos fluorescentes T8, con balastro electrónico y de preferencia reflector de espejo. Para las nuevas edificaciones instalar equipos T5 o LEDS.
2. Instalar calentadores solares y bombas de calor en alberca olímpica de CU.
3. Instalar calentadores solares para el calentamiento de agua en regaderas y sustituir el uso de diesel por GLP.
4. Comenzar una sustitución de equipos de cómputo con pantallas de cinescopio por equipos de pantalla plana.
5. Revisar los refrigeradores que usan actualmente los expendios exteriores, solicitarles que usen equipos más eficientes y promover medidas de ahorro de energía como por ejemplo, indicarles que la insolación de los refrigeradores o el ubicarlos cerca de equipos para cocción de alimentos los deteriora e incrementa el consumo de energía.
6. Sustituir los equipos más antiguos de aire acondicionado por equipos más eficientes.

Por otro lado se sugiere:

1. Instalar medidores de energía eléctrica en los edificios de CU.
2. Llevar una cuantificación central del uso de GLP y diesel por motivos de ahorro de energía y ambientales.
3. Llevar una cuantificación central del uso de gasolina y diesel para transporte de las flotillas universitarias por motivos de ahorro de energía y ambientales.
4. Establecer esquemas de contribución (pago) por uso de energía eléctrica para los concesionarios de expendios exteriores.
5. Solicitar a CFE una tarifa especial para instalaciones educativas. Parece absurdo que la UNAM tenga que pagar más por el uso de energía en horario medio y pico, cuando no tiene facilidad para cambiar los horarios de sus tareas sustantivas.
6. El costo que paga la UNAM por el uso de electricidad en Ciudad Universitaria podría reducirse si se cambia a un sistema de alta tensión, lo que disminuiría las pérdidas y permitiría cambiar a una tarifa más económica.

En este sentido es importante comentar que en el 2005 dentro del “Macroproyecto Ciudad Universitaria y la Energía” se desarrolló el proyecto denominado Diagnóstico y Evaluación del Sistema de Distribución Subterránea en Media Tensión de C.U. su principal objetivo fue evaluar la red de distribución subterránea en 6 kV de C.U. e identificar los problemas de operación, mantenimiento y obsolescencia que presentan las subestaciones, cables de media tensión, equipos de protección, seccionamiento y en general las componentes de la red de distribución. El proyecto sirvió de base para dar inicio a la sustitución de la red de distribución subterránea en 6 KV. Sin embargo, no se tomaron en cuenta algunos detalles que hubieran mejorado la operación de la red:

- EL cambio de tarifa a alta tensión y la evaluación de la distribución, con beneficios en reducción de pérdidas eléctricas en la distribución y económicos.
- La capacidad de los transformadores actuales, los estudios realizados demuestran que están excedidos, en algunos casos hasta en un 40%. El proyecto contempla la adquisición de transformadores nuevos con las mismas capacidades.
- No ha quedado claro si los nuevos transformadores contarán con monitoreo de los parámetros eléctricos principales, lo cual sería de gran ayuda para la medición y el control, ya que a la fecha solamente se cuenta con 23 edificios monitoreados.

Para estudios posteriores se sugiere:

1. Trabajar conjuntamente con el Programa de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería para hacer mediciones de más edificaciones y disminuir la incertidumbre de este estudio.
2. Hacer un estudio del consumo de energía del transporte en Ciudad Universitaria.
3. Ampliar este estudio a otros campus de la UNAM.

Como comentario adicional vale la pena reflexionar acerca de las áreas destinadas a oficinas administrativas en Ciudad Universitaria, las cuales representan el 14.6% de la superficie de las edificaciones, 3.1% más que las áreas destinadas a la Investigación en Humanidades, 3.5% más que las aulas con laboratorio y 10.3% más que las bibliotecas. Además cuentan con una densidad mayor en equipos de cómputo que las áreas de docencia e investigación y representan el 2.7% de las emisiones de GEI de Ciudad Universitaria. Resultan números sumamente altos para ser sólo áreas de apoyo para las actividades sustantivas de la UNAM.

Referencias

Barlett P.F., Chase G.W. 2004. Sustainability on Campus: Stories and strategies for change. Massachusetts Institute of Technology. Boston, VA, USA.

Butala , V y Novak, P. 1999. Energy consumption and potential energy savings in old schools buildings, *Energy and Buildings*, 29 (3): 241-246.

California Energy Commission, 2006; California Commercial End-Use Survey, ConsultantReport, March 2006, pag 8

Conde, R.; González, O. y Mendieta, E. (2006). Hacia una gestión sustentable del campus universitario en *Revista Casa del Tiempo*, Vol. VII, Época III, Núm.93 -94.

Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2009. Metodologías para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía, México DF. Disponible en: www.conae.gob.mx

Energy Information Administration 2003. Overview of buildings. Department of Energy, US Government.

Escobedo, A. 2009. Tesis de doctorado. Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: caso UNAM-CU. Tesis de Doctorado. Facultad de Arquitectura, UNAM.

Fideicomiso de Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), 2010. Información sello FIDE.

Diario oficial de la Federación. 2005. NOM-007-ENER-2004 Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Viernes 15 de abril de 2005.

Dirección General de Obras y Conservación (DGOC-UNAM). 2011. Sistema de Información de la Planta Física (SIPLAFI). Base de datos interna.

Dirección General de Obras y Conservación (DGOC-UNAM). 2010b. Estudio de sustitución de luminarias exteriores. Reporte interno.

IPCC, 2006a. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2. Energía

IPCC, 2006b. Guía de buenas prácticas para elaboración de inventarios nacionales.

Leal Filho, 2011, About the Role of Universities and Their Contribution to Sustainable Development. *Higher Education Policy*, 24: 427 – 438.

Medellín-Milán, P., Nieto-Caraveo LM., 2007. El Sistema de Manejo Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luís Potosí, México en *Memorias del IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente: Gestión ambiental institucional y ordenamiento de*

los campus universitarios. Bogotá, 25-26 octubre, 2007. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. pp. 95-110.

Ortiz Hernández M.L., Sánchez Salinas, E. Lara Manrique. J 2007. La Gestión Ambiental en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México en Memorias del IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente: Gestión ambiental institucional y ordenamiento de los campus universitarios. Bogotá, 25-26 octubre, 2007. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. pp. 77-90.

Ortiz Espejel, B., Ayala Rodríguez, I., Guadarrama, S. 2007. Gestión Ambiental Universitaria: Hacia un Campus Sustentable. Universidad Iberoamericana. Puebla, México en Memorias del IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente: Gestión ambiental institucional y ordenamiento de los campus universitarios. Bogotá, 25-26 octubre, 2007. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. pp. 91-94.

Programa Universitario de Energía, 2005. Disponible en <http://www.sid.unam.mx/pue.html>.

Programa Universitario de Medio Ambiente, 2011. Programa *EcoPuma*. Disponible en <http://www.puma.unam.mx>

Sánchez Cifuentes. 2007. Informe final del Diagnostico energético / Ahorro de energía para el Macroproyecto La Ciudad Universitaria y la Energía. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Sánchez Cifuentes. 2010. Estudio calentamiento solar alberca CU. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Secretaría de Energía (SENER). 2011. Sistema de Información Energética.

Sheinbaum C., García C., Solís JC., Chávez C. 2009. Escenarios de Consumo de Energía y Emisiones de GEI del transporte de pasajeros en la ZMVM. Informe final que presenta el Instituto de Ingeniería al centro Virtual de Cambio Climático. UNAM y ICTDF.

Sheinbaum, C. y Chávez C. 2011. Fuel economy of new passenger cars in Mexico: Trends from 1988 to 2008 and prospects. *Energy Policy* 39 (12), pp. 8153-8162

Thuman A, Younger W.J. 2008. Handbook of Energy audits. Seventh edition. Fairmont Press Inc. Lilburn, GA. USA.

Torres Vargats, Georgina A. 1995. La *Universidad* en sus publicaciones: historia y perspectivas. UNAM, México D.F. 197 páginas.

Universidad Veracruzana. 2011. Programas Operativos del Plan Universitario Sustentable. Disponible en <http://www.uv.mx/sustentable/programas/index.html>

UNAM. 2011a. Campus central de la Ciudad Universitaria, Patrimonio Mundial en <http://www.patrimoniomundial.unam.mx>. Consultada el 27 de octubre del 2011.

UNAM. 2011b. Página oficial de los 100 años de la Universidad. <http://www.100.unam.mx/>. Consultada el 9 de noviembre del 2011.

UNAM. 2011c. Plan maestro de Ciudad Universitaria. Dirección General de Obras y Conservación. Dirección de Planeación y Evaluación de Obras.

Velazquez L, Munguia, N., Platt,A., Taddei, J., 2006. Sustainability In Higher Education: What is Happening? *Journal of Cleaner Production* Volume 14, Issues 9-11, Pages 810-819.

Wright, T.S.A. (2002) "Definitions and frameworks for environmental sustainability in higher education", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 3 Issue: 3, pp.203 - 220

Anexos

Anexo 1. Tarifa HM: Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más

1.- Aplicación

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más.

2.- Cuotas aplicables

Los cargos se aplican de acuerdo a la región (Baja California, Baja California Sur, Central, Noreste, Noroeste, Peninsular, Sur), demanda facturable, energía de punta, energía intermedia y energía de base.

3.- Mínimo mensual

El importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable al 10% de la demanda contratada.

4.- Demanda contratada

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

5.- Horario

Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX, así como los que se establezcan por Acuerdo Presidencial.

6.- Periodos de punta, intermedio y base

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para distintas temporadas del año, en el caso de la tarifa HM región Central los periodos son:

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

7.- Demanda facturable

La demanda facturable se define como se establece a continuación:

$$DF = DP + FRI \times \text{máx.} (DI - DP, 0) + FRB \times \text{máx.} (DB - DPI, 0)$$

Donde:

DP es la demanda máxima medida en el periodo de punta

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base

DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria, para el caso de la tarifa HM región central:

Región	FRI	FRB
Central	0.300	0.150

En las fórmulas que definen las demandas facturables, el símbolo "máx." significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinarán mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts,

durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable se tomará como kilowatt completo.

Cuando el usuario mantenga durante 12 meses consecutivos valores de DP, DI y DB inferiores a 100 kilowatts, podrá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa O-M.

8.- Energía de punta, intermedia y de base

Energía de punta es la energía consumida durante el periodo de punta.

Energía intermedia es la energía consumida durante el periodo intermedio.

Energía de base es la energía consumida durante el periodo de base.

9.- Depósito de garantía

Será de 2 veces el importe que resulte de aplicar el cargo por demanda facturable a la demanda contratada.

Anexo 2. Definición de las tipologías establecidas en este estudio.

Tipología	Definición
Alberca	Instalaciones de la Alberca Olímpica Universitaria (alberca de competencias de natación, fosa de clavados, zona para polo acuático, cuarto de bombas, regaderas y baños).
Áreas exteriores	Áreas verdes y espacios abiertos o no, de uso común.
Aulas	Edificios cuya función principal es la impartición de clases.
Aulas con laboratorio	Edificios que albergan tanto aulas como laboratorios.
Bibliotecas	Edificios cuya función es prestar servicio bibliotecario.
Bomberos	Instalaciones del cuerpo de bomberos de CU.
Cafeterías y restaurantes	Espacios destinados a la preparación y venta de alimentos y bebidas para su consumo en las propias instalaciones.
Campos deportivos	Espacios destinados a actividades deportivas. Se separó de esta tipología al Estadio Olímpico por sus dimensiones y características de sus instalaciones.
Cines, teatros y auditorios	Espacios destinados a actividades culturales.
Comercial	Edificios destinados al uso comercial.
Estadio	Instalaciones del Estadio Olímpico Universitario.
Expendios exteriores	Instalaciones destinadas al expendio de productos varios (papelería, refrigerios, etc.)
Entidades de Investigación Científica	Edificios en los cuales se realiza de manera preponderante investigación en temas científicos.
Investigación en humanidades	Edificios en los cuales se realiza de manera preponderante investigación en ciencias sociales y humanidades.
Laboratorios independientes	Edificios que albergan laboratorios exclusivamente.
Museo	Edificios destinados a la difusión de la cultura o la ciencia a través de la exhibición de evidencia material.
Oficinas administrativas	Edificios destinados principalmente a actividades administrativas.
Plantas de tratamiento	Instalaciones de las plantas de tratamiento de agua.
Pozos	Instalaciones de los pozos de extracción de agua potable y de los tanques de regulación.
Talleres de conservación y mantenimiento	Instalaciones que albergan las actividades de conservación y mantenimiento de CU. Ejemplos analizados: Talleres centrales de conservación y mantenimiento de la DGOyC, sus bodegas, baños y regaderas.
TV UNAM	TV UNAM
Unidades médicas	Edificios destinados a la atención de pacientes por parte de alumnos y residentes bajo la supervisión de personal académico.
Vialidades y estacionamientos	Instalaciones destinadas a la circulación y aparcamiento de vehículos.

Anexo 3. Edificaciones y espacios analizados en este estudio.

Dependencia que realizó el estudio o envió información	Tipología	Inmuebles con información	Número de espacios
DGOC	Áreas Exteriores	Áreas verdes del Campus Central de CU.	1
	Áreas Exteriores	Andadores peatonales techados del Campus Central	77
	Aulas con Laboratorio	Edificio E de la Facultad de Química	6
	Campos deportivos	Campo de futbol americano	1
	Campos deportivos	Pista de calentamiento	1
	Estacionamientos y vialidades	Estacionamientos y vialidades del Campus Central y del Estadio Olímpico	23
	Entidades de Investigación en Humanidades	Instituto de Investigaciones Bibliográficas	1
	Oficinas administrativas	Dirección General de Obras y Conservación	1
	Oficinas administrativas	Rectoría	1
	Expendios exteriores	Expendios ubicados en los andadores y áreas exteriores del anexo de la Facultad de Ingeniería y en los andadores peatonales de la Facultad de Odontología.	18
	Plantas de tratamiento de agua	Todas las plantas de tratamiento de agua de CU (Campus central, camellón de la Facultad de Química, camellón de la Facultad de Veterinaria, Centro Médico, Estadio Olímpico, pista de calentamiento, canchas del Club Pumitas, canchas de beisbol, Unidad de seminarios y Jardín Botánico).	13
	Pozos	Todos los pozos de extracción de agua potable (pozo I ubicado en terrenos de la Facultad de Química, pozo II ubicado cerca del edificio multifamiliar, tanque bajo es la estación de bombeo localizada al sur del Estadio Olímpico Universitario y pozo III ubicado en el Vivero Alto).	4
	PAE-FI medición	Aulas	CELE
Biblioteca		Biblioteca de la Facultad de Derecho	1
Comercial		Tienda UNAM	1
Entidades de Investigación Científica		Instituto de Química	1
Entidades de Investigación en Humanidades		Instituto de Investigaciones Económicas	1
PAE-FI-levantamiento	Cafeterías y Restaurantes	Restaurante del AAPAUNAM	1
	Entidades de Investigación Científica	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	1
	Oficinas administrativas	Dirección General de CCH	1
Planos PAE-FI	Talleres de conservación y mantenimiento	Talleres centrales de conservación y mantenimiento	2
	Aulas	Facultad de Ciencias	6
	Aulas	Edificios A, B y C de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	3
	Aulas	Facultad de Filosofía y Letras y su edificio de posgrado.	2
	Aulas	Edificios A y B de la Facultad de Ingeniería	4
	Aulas con Laboratorio	Unidad de Servicios de Cómputo Administrativo (USECAD).	1

	Biblioteca	Biblioteca Central	1
	Cines, teatros y auditorios	Auditorio Alfonso Caso (Medicina)	1
	Cines, teatros y auditorios	Sala Miguel Covarrubias CCU	1
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de Ecología	1
	Entidades de Investigación en Humanidades	Instituto de Investigaciones Bibliográficas	1
	Laboratorios independientes	Vías Terrestres y Mesa vibradora del Instituto de Ingeniería.	2
	Oficinas administrativas	Facultad de Filosofía y Letras	1
PUMA e II- Levantamientos	Entidades de Investigación Científica	Centro de Ciencias de la Atmósfera	1
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de Astronomía	1
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de Ciencias Nucleares	1
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de Matemáticas	1
	Entidades de Investigación Científica	Facultad de Medicina	1
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de Biología (instalaciones del Jardín Botánico)	1
	Unidades médicas	Clínica del edificio principal de la Facultad de Odontología.	1
	Estadio	Estadio Olímpico	1
	Aulas con Laboratorio	Edificio A de la Facultad de Medicina.	1
	Oficinas administrativas	AAPAUNAM	1
	Cafeterías y Restaurantes	Azul y Oro CCU y Torre de Ingeniería	2
	Entidades de Investigación Científica	Instituto de ciencias Nucleares	1
	Museo	Universum	1
	Estacionamientos y vialidades	Estacionamiento del AAPAUNAM	2
	TOTAL		

Anexo 4. Información de transporte universitario

De los registros proporcionados por la Dirección General de Servicios Generales (DGSG) de la UNAM, el universo de vehículos que pertenecen a las dependencias en Ciudad Universitaria es de 1,628. Esto incluye automóviles, camionetas, camiones, motocicletas, tractores y remolques.

Restando los tractores y remolques, la Tabla A.3.1 muestra el número de vehículos por tipo.

Tabla A.3. 1. Distribución de los vehículos por tipo de dependencias en CU.

Vehículos	
Automóvil	679
Camión	168
Camioneta	700
Motocicleta	52
Totales	1,599

Fuente: DGSG y Patronato Universitario.

Utilizando los rendimientos vehiculares para ciudad reportados en Sheinbaum y Chávez (2011) y Sheinbaum et al (2009) y suponiendo que en Ciudad Universitaria se recorre un máximo de 5 km diarios (no incluye el recorrido fuera de Ciudad Universitaria) durante los días hábiles, las emisiones de estos vehículos alcanzan 491.7 toneladas de CO₂eq en el año 2011, con las suposiciones y consideraciones reportadas en la Tabla A.3.2.

Tabla A.3.2 Estimación de las emisiones de los vehículos de dependencias de CU

	Número	Rendimiento* km/Lt	Distancia Km/año	Gasolina TJ	Diesel TJ	CO ₂ eq ton
Automóvil	679	9.8	1300	2.89		205.27
Camión	168	1.5	1300		5.20	
Camioneta	700	7.4	1300	3.94		280.26
Motocicleta	52	25	1300	0.09		6.16
Totales	1,599		1300	6.92	5.20	491.69

PC gasolina 5097MJ/bb 32.06MJ/Lt

PC diesel 5681 MJ/bb 35.73MJ/Lt

* Fuente: Sheinbaum y Chávez (2011); Sheinbaum et al, (2009).

**Supone uso diario en días hábiles y 5 km de recorrido en CU

Factores de emisión CO₂eq; gasolina 71.09 (t/TJ); diesel 75.36 (t/TJ); IPCC (2006a)

Anexo 5. Calentamiento solar y bombas de calor para alberca de CU.

Opción	Inversión (miles de pesos)	Vida útil	Consumo de				Costo de combustible (miles de pesos/año)	Factor de emisión (kg/TJ)	Emisiones de CO ₂ (ton)	Costo total anual (miles de pesos)
			Inversión anualizada (pesos)	GLP (lt/año)	GLP (TJ/año)	Electricidad (kWh/año)				
Actual										
Calentadores gas				1,350,000	31.78		7,384.5	63,100	2005	7,384.5
Propuesta 1										
950 paneles solares	11,514.9	10	2,038.0							2,038.0
20 bombas de calor (10 ya existentes) + bombas hidráulicas	3,206.1	10	567.4			825,151	2.971	1,072.7	153,100	455
Calderas de respaldo	450.0	10	79.6	173,625	4.09		949.7	63,100	258	1,029.4
Total	15,171.0		2,685.0		4.09		2,022.4		713	4,707.4
Propuesta 2										
550 paneles solares	5,158.1	10	912.9							912.9
28 bombas de calor (10 ya existentes) + bombas hidráulicas	4,610.9	10	816.1			1,205,275	4.34	1,566.9	153,100	664
Calderas de respaldo	450.0	10	79.6	134,250	3.16		734.3	63,100	199	814.0
Total	10,219.0		1,808.6	134,250	3.16	1,205,275	4.34	2,301.2		864
Propuesta 3										
950 paneles solares	11,514.9	10	2,038.0							2,038.0
Calderas de respaldo				626,250	14.74		3,425.6	63,100	930	3,425.6
Total	11,514.9		2,038.0	626,250	14.74		3,425.6		930	5,463.5
Propuesta 4										
950 paneles solares (donados)	6,060.0	10	1,072.5							1,072.5
Calderas de respaldo				626,250	14.74		3,425.6	63,100	930	3,425.6
Total	6,060.0		1,072.5		14.74		3,425.6			4,498.1

Notas:

En las opciones que contemplan paneles solares se incluye en la inversión las instalaciones físicas e hidráulicas. Por facilidad, la vida útil de toda inversión es de 10 años.

En las opciones que contemplan bombas de calor se incluye en la inversión, las instalaciones eléctricas y la vida útil de la inversión es de 10 años.

Las calderas ya existen pero se considera la compra de una caldereta para calentamiento de agua en regaderas.

El número de horas de operación puede variar, se toman las horas de operación calculadas por DGOyC.

Las calderas de gas existentes consumen 625 lt/hr de GLP.