



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ENERGÍA

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL
ÁREA DE ENERGÍA EN CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
DANIEL CASTILLO GUEVARA

TUTOR PRINCIPAL
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO.
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

MÉXICO, D. F. MARZO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Arturo Guillermo Reinking Cejudo

Secretario: Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

Vocal: Dra. M. Azucena Escobedo Izquierdo

1 er. Suplente: M. en I. Augusto Sánchez Cifuentes

2 d o. Suplente: Dr. Pablo Álvarez Watkins

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo por toda su paciencia, apoyo y enseñanzas en temas tanto académicos, personales y profesionales, ella es un gran ejemplo de dedicación y profesionalismo.

A la M. en I. Sonia Briceño Viloria por todos sus consejos y ayuda para sacarle el mejor provecho a este trabajo.

A mis padres por su amor y apoyo en cada momento de mi vida, por educarme, ayudarme a crecer como persona y por el apoyo que me han dado en cada etapa de mi vida y en todas mis decisiones respetándome y amándome.

A mi familia, por siempre darme su apoyo incondicional, su gran cariño y generosidad.

A Lizeth, por su apoyo, cariño y su gran ejemplo de constancia y humanidad.

A mis compañeros y amigos por la solidaridad y apoyo incondicional que siempre me han demostrado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado de Ingeniería porque me han permitido formarme profesional y personalmente en sus aulas, bibliotecas y en todos sus espacios culturales y deportivos.

Al Instituto de Ingeniería y al Programa Universitario de Medio Ambiente por todas las facilidades durante el desarrollo del presente trabajo.

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo de beca otorgado.

A todas las personas que con su empeño, trabajo y dedicación fueron un gran aporte en la realización de este proyecto.

Gracias a todos los miembros del jurado por la dedicación que tuvieron al revisar este trabajo y gracias por sus valiosas sugerencias para mejorar su contenido.

Y a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron en mi formación durante esta etapa.

RESUMEN

El objetivo de ésta tesis es estimar el consumo de energía eléctrica por usos finales de la Ciudad Universitaria (C.U.) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) así como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de ese consumo.

La presente tesis es parte de un proyecto que desarrolló el Instituto de Ingeniería para el Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) de la UNAM, dentro del proyecto EcoPuma cuyo objetivo es reducir el impacto ambiental de la operación universitaria, basado en esquemas de administración ambiental para campus sustentables a nivel nacional e internacional.

Para ello, se realizó una auditoría energética de primer nivel a una muestra de 197 edificios e instalaciones de CU. Las emisiones de GEI se calcularon con base en la metodología del IPCC (2006a) y la aprobada por CONUEE (2009) para energía eléctrica. Se definieron 20 tipologías de edificaciones y espacios de acuerdo con su actividad predominante, así como los principales usos finales de energía eléctrica: iluminación, aire acondicionado, refrigeración/congelación, cómputo, calefacción, especial (equipo de laboratorio), fuerza (p.e. bombeo) y misceláneos (otros equipos menores).

Las entidades de la investigación científica realizan la mayor contribución de las emisiones, seguidas por aulas y aulas con laboratorio. La iluminación en aulas representa el 10.2% de las emisiones, mientras que la iluminación en vialidades y estacionamientos representa el 4.9% de las emisiones medidas en CO₂eq. Los

expendios exteriores generan el 8.3% de las emisiones de CO2 eq., especialmente por su consumo de energía para refrigeración.

Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes de programas de administración sustentable de recursos en Campus Universitarios	1
1.2. Antecedentes de estudios y proyectos de ahorro de energía en Ciudad Universitaria.	5
2. Ciudad Universitaria	8
2.1 Antecedentes históricos.....	8
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	29
3.1 Auditorías energéticas	29
3.2 Emisiones.....	30
3.3 Adquisición y procesamiento de información.....	33
3.3.1 Adquisición de información base para consumos de energía eléctrica.....	33
3.3.2 Procesamiento de información para consumos de energía eléctrica.....	37
4. Resultados	40
4.1 Usos finales de la energía eléctrica.....	40
4.1.1. Iluminación.....	40
4.1.2 Refrigeración	42
4.1.3 Aire acondicionado y calefacción	44
4.1.4 Equipos de fuerza	46
4.1.5. Equipos de cómputo	47
4.1.6 Equipos misceláneos y especiales.....	48
4.1.7 Comparación y suma total	50
4.3 Inventario de emisiones de GEI	58
4.4 Análisis de incertidumbres	59
5. Comentarios y recomendaciones	61
6. Referencias	66
7. Anexos	69
Anexo 1. Tarifa HM: Principio del formulario	69
Anexo 2. Definición de las tipologías establecidas en este estudio.....	72
Anexo 3. Edificaciones y espacios analizados en este estudio.....	73
Anexo 4. Artículo en la revista Energy for Sustainable Development.....	75

Cuadros

Cuadro 2.1 Resumen de superficie construida por función en Ciudad Universitaria.....	24
Cuadro 2.2 Características de la facturación de electricidad para CU abril-septiembre 2011.....	28
Cuadro 3.1 Factores de emisión	31
Cuadro 3.2 Factor de emisión eléctrico para 2010.....	32
Cuadro 3.3 Superficie de construcción de las tipologías para las cuales se realizaron levantamientos y superficie de construcción total reportada por SIPLAFI.	36
Cuadro 4.1 Iluminación en CU por tipología (levantamiento).	41
Cuadro 4.2 Indicadores energéticos – Iluminación-.	42
Cuadro 4.3 Refrigeración en CU por tipología (levantamiento).	43
Cuadro 4.4 Indicadores energéticos –Refrigeración-.	44
Cuadro 4.5 AA en CU por tipología (levantamiento).	45
Cuadro 4.6 Indicadores energéticos –AA-.	45
Cuadro 4.7 Calefacción en CU por tipología (levantamiento).	46
Cuadro 4.8 Indicadores energéticos –Calefacción-.	46
Cuadro 4.9 Equipo de fuerza en CU por tipología (levantamiento).	46
Cuadro 4.10 Indicadores energéticos –Fuerza-.	47
Cuadro 4.11 Equipo de cómputo e indicadores (levantamiento).	48
Cuadro 4.12 Equipos misceláneos en CU por tipología (levantamiento).	49
Cuadro 4.13 Indicadores energéticos –Equipos misceláneos-.	49
Cuadro 4.14 Equipos especiales en CU por tipología (levantamiento).	50
Cuadro 4.15 Indicadores energéticos –Equipos especiales-.	50
Cuadro 4.16 Comparación con indicadores de otros estudios para edificios escolares (en kWh/m ² /año).....	51
Cuadro 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU en 2011 (1).....	52
Cuadro 4.18 Emisiones de CO ₂ eq. por fuente de energía en CU para 2011.....	58
Cuadro 4.19 Emisiones de CO ₂ por fuente de energía y uso final en CU.....	58
Cuadro 4.20 Incertidumbres en la información.....	60
Cuadro 4.21 Incertidumbre en las emisiones de gases efecto invernadero.....	60

Figuras

Figura 2.1 Planta Física C.U. 1954	13
Figura 2.2 Planta física C.U. 1970.....	14
Figura 2.3 Planta Física, C.U. 1980	15
Figura 2.4 Planta Física C.U., 1990	16
Figura 2.5 Planta Física, C.U. 2000	17
Figura 2.6 Planta Física, C.U. 2011	18
Figura 2.7 Superficie construida por uso	19
Figura 2.8 Distribución del consumo de energía eléctrica en diferentes campus de la UNAM	23
Figura 2.9 Consumo mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011.	26
Figura 2.10 Demanda mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011	27
Figura 4.1 Consumo de electricidad por usos finales CU	56
Figura 4.2 Consumo de electricidad en CU por tipología de espacios.....	57

1. Introducción

Esta tesis se inscribe dentro de un estudio más amplio que realizó el Instituto de Ingeniería de la UNAM para el Programa Universitario de Medio Ambiente acerca del “Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Ciudad Universitaria asociadas al consumo de energía en edificios”. En particular esta tesis presenta resultados para el caso de la energía eléctrica.

Para realizar este estudio se llevó a cabo 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. Las emisiones de GEI se calcularon con base en la metodología del IPCC (2006a) y la aprobada por CONUEE (2009) para energía eléctrica.

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.

El inicio de la incorporación del tema del desarrollo sustentable en las universidades se identifica 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.

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

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

- 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, Estado de 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 la 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 Bolonia, la 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 Clugston 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 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 2005, 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 Rector, 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 2.1).

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, el mural de la conquista de la energía de José Chávez Morado en la cara norte de la antigua Facultad de Ciencias. 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 2.2).

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 2.3).

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 2.4). 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 2.5).

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 2.6).

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).

Uno de los aspectos más importantes del proyecto y construcción de Ciudad Universitaria fue el diseño de la Red de Distribución Subterránea de la Energía Eléctrica.

La red de distribución subterránea de la Ciudad Universitaria se proyectó y construyó en los años 50. En su tiempo fue la primera y más grande red de distribución construida para un campus universitario en Latinoamérica. La estructura de la red se diseñó para las necesidades de carga y continuidad de esa época y cumplía con la normatividad vigente en el país.

La red eléctrica original estaba integrada por la subestación principal No. 1, que fue construida en 1952 y puesta en operación en el año de 1954. Está ubicada en la parte norte de Ciudad Universitaria a espalda de la Facultad de Psicología.

Esta subestación contaba con dos transformadores trifásicos con capacidad de 2,500 kVA cada uno, teniendo como resultado una capacidad de 5,000 kVA.

Esta subestación era alimentada por Luz y Fuerza del Centro a través de dos alimentadores aéreos de 23 kV, provenientes de las Subestaciones Olivar del Conde y Taxqueña.

Se diseñó una configuración de anillo para proporcionar más confiabilidad al sistema eléctrico, debido a que si alguna sección tuviera alguna falla esta se pudiera restablecer rápidamente.

Con el paso del tiempo la demanda de energía eléctrica en Ciudad Universitaria aumentó, por lo cual se tuvieron que sustituir los dos transformadores que se encontraban en la subestación No. 1, por otros con una capacidad de 7,500 kVA, para que el sistema pudiera absorber la carga excedente y además tener un margen de reserva al sistema eléctrico.

En el año de 1976 aumentó la construcción de institutos, facultades, centros de investigación y creció el circuito exterior, todo esto trajo consigo un aumento de carga al sistema eléctrico de Ciudad Universitaria; la subestación No. 1 se encontraba saturada y para poder dar servicio eléctrico a todo el campus se construyó la Subestación No. 2 en 1981.



Figura 2.1 Planta Física C.U. 1954



Fuente: UNAM, 2011c

Figura 2.2 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 2.3 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

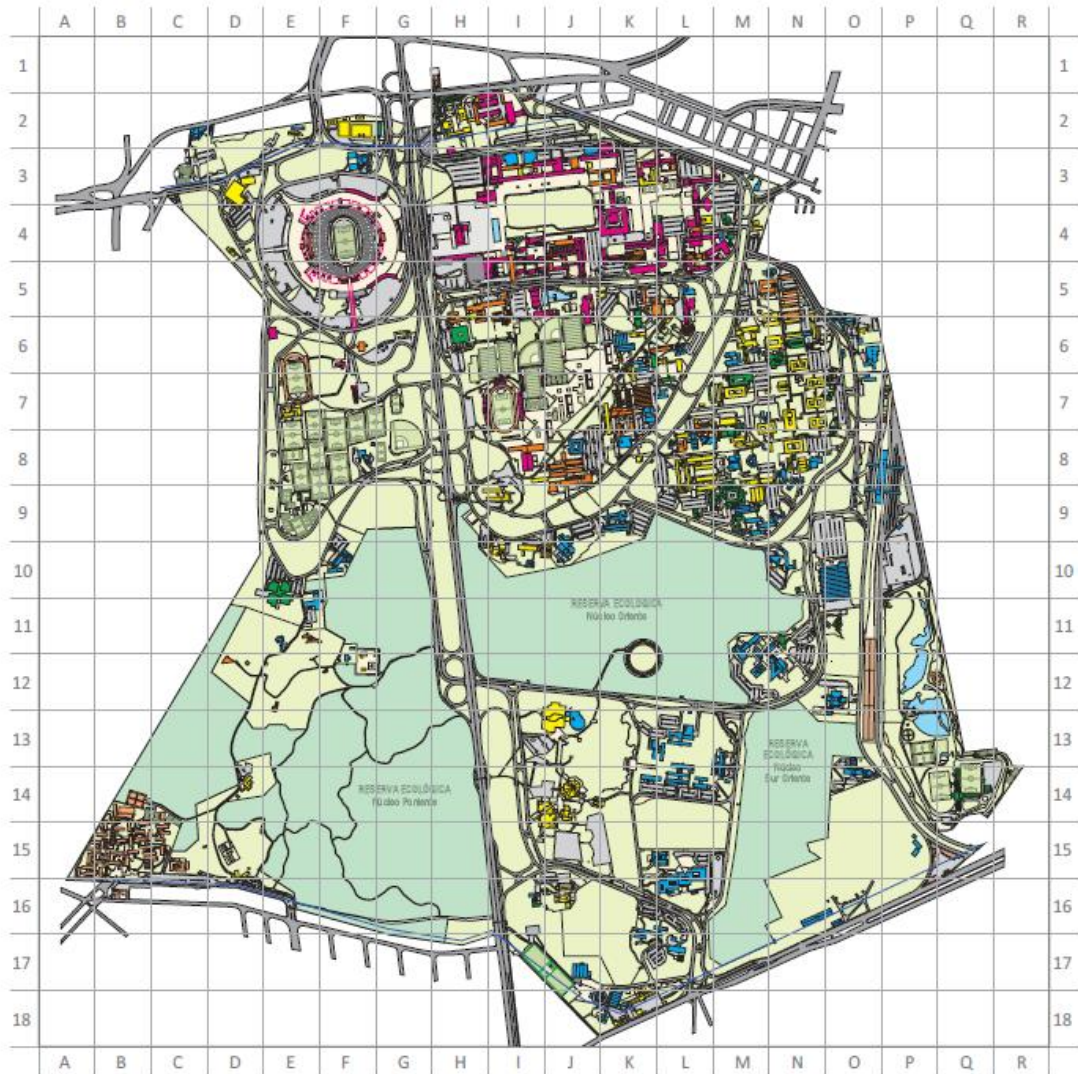
Figura 2.4 Planta Física C.U., 1990



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

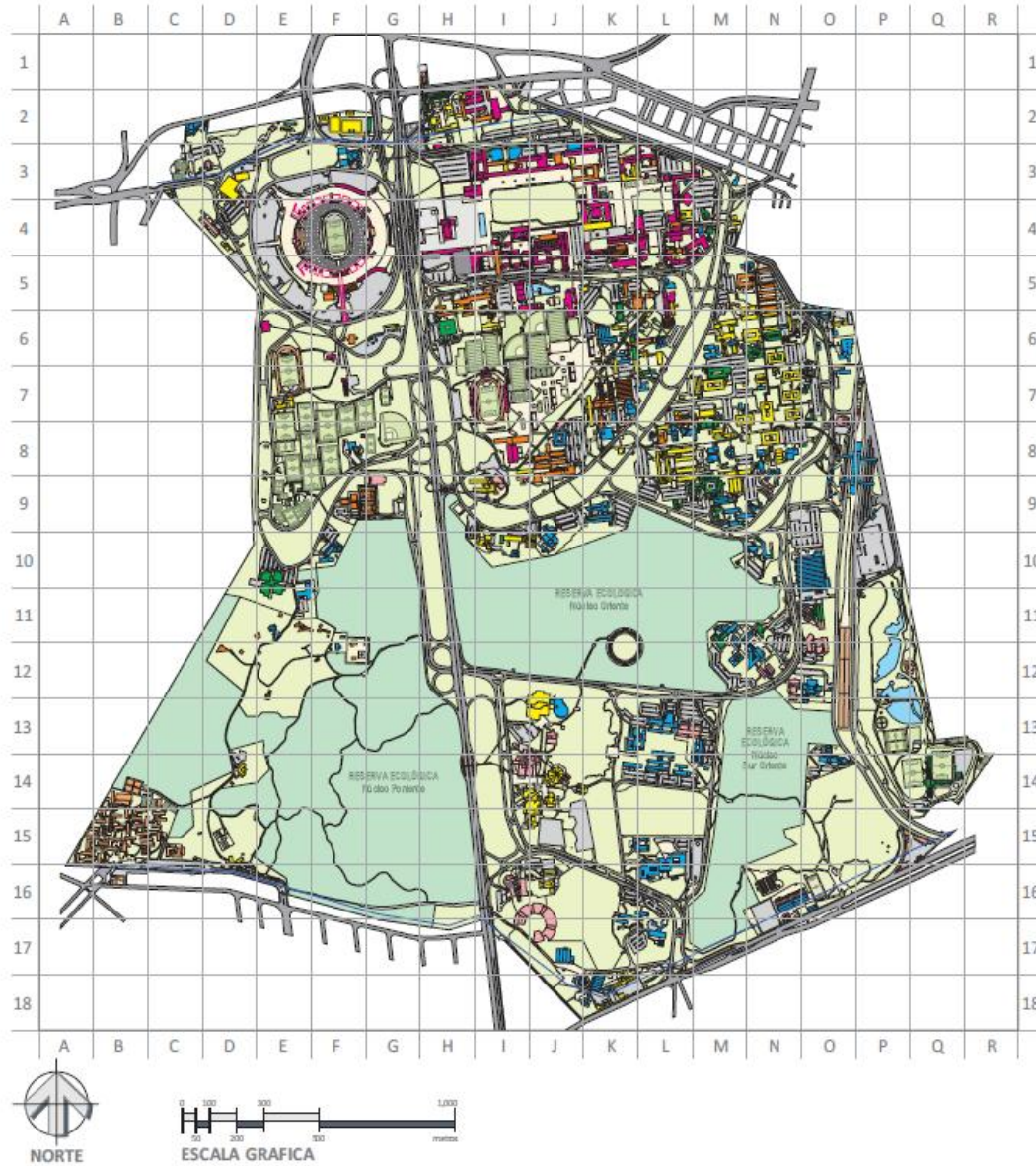
Figura 2.5 Planta Física, C.U. 2000



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 2.6 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 m ²	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 2.7): 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 abarca 898,165 m² (UNAM, 2011c).

Figura 2.7 Superficie construida por uso





UNAM
SECRETARÍA ADMINISTRATIVA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACION
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	Clinica 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

ABRIL 2011 - Fuentes:
Dirección General de Obras y Conservación
Dirección de Planeación
Dirección de Conservación
Dirección de Construcción
Catálogo Instructivo de Ejercicio Presupuestal UNAM

EXTENSIÓN		
49	Centro Cultural Universitario	
49a	Sala de Concierdos 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 Cómputo 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 Proveduría	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	Gasolinería	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

2.2.1 Instalación eléctrica de Ciudad Universitaria³

En 2012, Ciudad Universitaria era alimentada por cuatro acometidas⁴ 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 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 23000/6300 V, para alimentar por medio de 26 subestaciones derivadas, a los edificios de la zona de institutos de investigación.

Subestación 3, Zona Cultural. No cuenta con transformador y la acometida va directa al seccionador. Es una estación de medición que distribuye internamente al

³ Recientemente se hizo una adecuación al sistema eléctrico de CU, por lo que la información de esta sección se refiere a la instalación de 2012

⁴ Una acometida es la parte de la instalación eléctrica que se construye desde las redes de distribución, hasta las instalaciones del usuario.

circuito denominado Zona Cultural, a 23 kV por medio de 11 subestaciones derivadas.

Subestación 4. La acometida⁵ 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 futbol, 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.

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

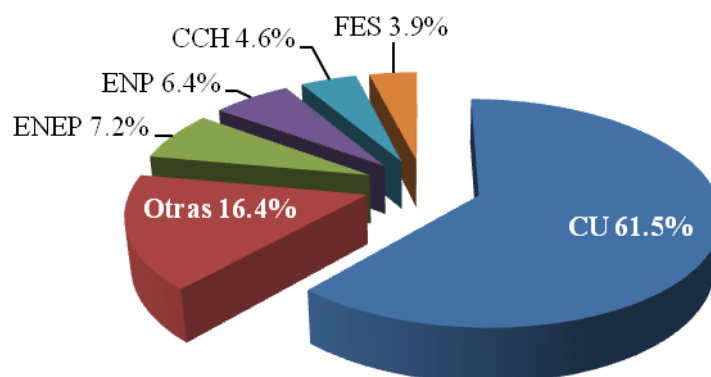
⁵ En el anexo se presentan los diagramas unifilares de las tres primeras acometidas, no se cuenta con esta información para la subestación cuatro.

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 (Figura 2.8), 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 2.8 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 Rector 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 (Cuadro 2.1).

Cuadro 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 Rector (UNAM, 2011c)

Las Figuras 2.9 y 2.10 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

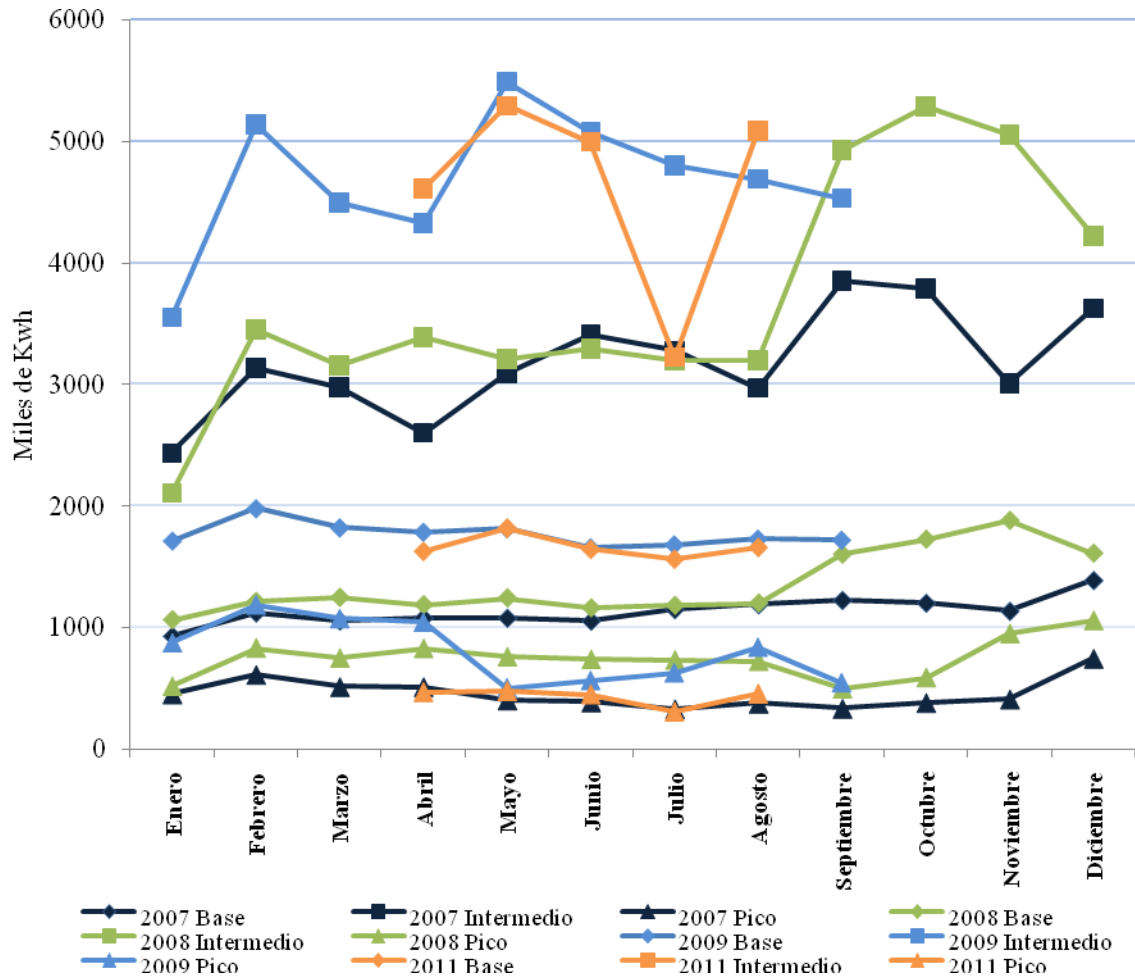
variaciones estacionales, que dependen principalmente de la actividad en Ciudad Universitaria (clases y vacaciones) y en menor medida de las condiciones climáticas. Esto es más claro para los años 2007, 2009 y 2011. Por su parte, el consumo base alcanzó valores similares en los años 2009 y 2011 y estos 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 vacacional⁶. De acuerdo con dicha estimación, para 2011 CU consumió 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 Cuadro 2.2 muestra las características de la factura eléctrica para los meses de abril a septiembre de 2011.

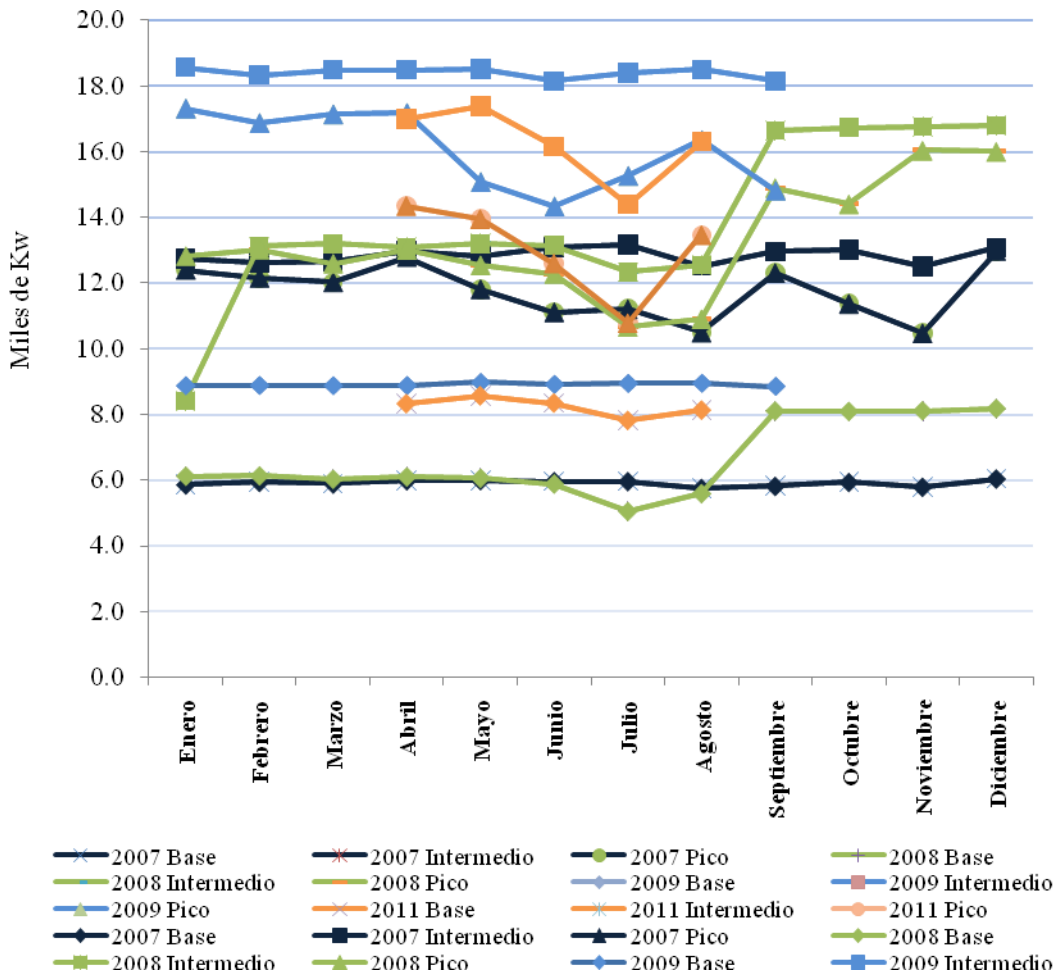
⁶ Se asumen las siguientes similitudes: la facturación de enero es semejante a la de junio (meses con actividad académica y administrativa, pero sin asistencia de alumnos), las de febrero y marzo son similares a la de mayo, las de octubre y noviembre son similares a septiembre (meses con actividad académica total y con cierta similitud en clima) y diciembre es similar a abril (semana santa y periodo vacacional de diciembre).

Figura 2.9 Consumo mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011.



Suma de cuatro subestaciones (facturación CFE)

Figura 2.10 Demanda mensual de electricidad en CU en 2007 y 2011



Suma de cuatro subestaciones (facturación CFE)

Cuadro 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. Ed. Biomédicas	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 “mejor tecnología en el mercado” (benchmarking) 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, mediciones específicas de equipos de interés, 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).

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, para estudios no puntuales es factible hacer este supuesto.

Cuadro 3.1 Factores de emisión

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

$$FE \text{ electricidad }_{it} = \frac{\sum C_{j,t} FE_{ij}}{GE_t (1-FP_t)}$$

Donde:

C_j es el consumo del combustible j en el año t

FE_{ij} 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 Cuadro 3.2 muestra los datos utilizados para el cálculo del factor de emisión eléctrico para el año 2010. El factor de emisión que se utilizará para el análisis es el de 2010, que es igual a 0.551 Kg CO₂eq/kWh.

Cuadro 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

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 del SIPLAFI y los objetivos del estudio se definieron 22 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 Cuadro 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.

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 120 edificaciones 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.

Cuadro 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).

4.3.2 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 Cuadro 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.

4. Resultados

4.1 Usos finales de la energía eléctrica.

Los resultados que se presentan a continuación para cada uno de los usos finales provienen, tanto del levantamiento como de los estudios previos.

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 Cuadro 4.1.

Al dividir para cada tipología, el dato de potencia total instalada entre la superficie correspondiente (Cuadro 4.1), se obtiene el indicador: Potencia total instalada para iluminación por superficie en kW/m^2 de la Cuadro 4.2, que multiplicado por las horas de uso genera el indicador: consumo por superficie por año de la misma Cuadro 4.2.

Cuadro 4.1 Iluminación en CU por tipología (levantamiento).

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	ND	1,673	549,975
Subtotal		344,077	3,346.64			5,414,278
Áreas exteriores						
Expendios exteriores	18	94	2.17	ND	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	ND	833	92,406
Estadio	1	9,317	346.68	ND	546	189,142
Subtotal		170,464				1,005,382
Total		514,540				6,419,660

Cuadro 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 Cuadro 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.

Cuadro 4.3 Refrigeración en CU por tipología (levantamiento).

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 Cuadro 4.4. El indicador de Potencia total instalada para refrigeración por m², se obtuvo de dividir para cada tipología, el dato de potencia total instalada entre la superficie correspondiente (datos de la Cuadro 4.1). Este indicador se multiplica por las horas de uso para obtener el indicador: consumo por superficie por año de la misma Cuadro 4.2.

De esta forma se obtienen los indicadores para cada uso final que se presentan en las Cuadros 4.6, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13 y 4.15.

Cuadro 4.4 Indicadores energéticos –Refrigeración-.

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m²)	Consumo por superficie por año (kWh/m²/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 Cuadro 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 Cuadros 4.5 y 4.6 muestran los resultados del levantamiento de información e indicadores para aire acondicionado (AA) y las Cuadros 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.

Cuadro 4.5 AA en CU por tipología (levantamiento).

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

Cuadro 4.6 Indicadores energéticos –AA-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie por año (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.

Cuadro 4.7 Calefacción en CU por tipología (levantamiento).

	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

Cuadro 4.8 Indicadores energéticos –Calefacción–

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie por año (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 Cuadro 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.

Cuadro 4.9 Equipo de fuerza en CU por tipología (levantamiento).

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	205	126.0	952	194,910
Biblioteca	2	16,968	22	22.4	1,964	43,956
Cafeterías y restaurantes	3	2,593	20	0.6	699	13,899
Laboratorios independientes	2	25,686	547	0.0	140	76,690
Oficinas administrativas	5	38,489	17	4.3	631	10,437
Talleres de conservación y mantenimiento	2	2,836	1	0.0	455	420
Unidades médicas	1	31,277	23	1.7	558	13,056
Entidades de Investigación Científica	10	88,997	160	43.2	660	105,783
Expendios exteriores	18	94	1	0.5	791	915
Plantas de tratamiento de agua	-	ND	300	14.5	1,009	302,321
Pozos	-	ND	3	3.2	3,221	10,531
Total						772,918

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

Cuadro 4.10 Indicadores energéticos –Fuerza-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m²)	Consumo por superficie por año (kWh/m² /año)
Aulas con Laboratorio	7.48	7.11
Biblioteca	1.30	2.59
Cafeterías y Restaurantes	7.71	5.36
Laboratorios independientes	21.30	2.99
Oficinas administrativas	0.44	0.27
Talleres de conservación y mantenimiento	0.35	0.15
Unidades médicas	0.74	0.42
Investigación Científica	1.80	1.19
Expendios exteriores	10.64	9.73
Plantas de tratamiento de agua	-	-
Pozos	-	-
Promedio	5.75	3.31

4.1.5. Equipos de cómputo

La Cuadro 4.11 presenta un resumen del consumo de energía del equipo de cómputo obtenido del levantamiento y validado con información de FIDE, así como el indicador de consumo por superficie de construcción. Se observa que el mayor consumo es registrado por las entidades de la investigación científica, con el 83% del consumo total. Por su parte, al analizar el consumo por superficie esa tipología pasa a segundo lugar después de los expendios exteriores.

Cuadro 4.11 Equipo de cómputo e indicadores (levantamiento).

Tipología	Cantidad	Superficie m ²	Potencia total instalada (kW)	Horas promedio de uso (hora/año)	Consumo kWh/año	Consumo por superficie kWh/m ² 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
Tienda UNAM	1	12,831	320	1,758	32,078	2.5
Expendios exteriores	18	94	320	1,758	7,234	76.9
Total					1,562,214	11.30

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 Cuadros 4.12 a 4.15.

Cuadro 4.12 Equipos misceláneos en CU por tipología (levantamiento).

Tipología	Cantidad	Superficie (m²)	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

Cuadro 4.13 Indicadores energéticos –Equipos misceláneos-

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m²)	Consumo por superficie por año (kWh/m² /año)
Aulas con Laboratorio	2.19	0.51
Entidades de Investigación en Humanidades	0.21	0.04
Entidades de Investigación Científica	7.39	5.10
Laboratorios independientes	0.62	1.04
Talleres de conservación y mantenimiento	9.52	6.87
Oficinas administrativas	0.08	0.03
Cafeterías y Restaurantes	25.84	31.90
Unidades médicas	2.05	1.35
Cines teatros y auditorios	1.34	0.55
Expendios exteriores	223.40	209.36
Promedio	27.26	25.68

Cuadro 4.14 Equipos especiales en CU por tipología (levantamiento).

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	18	94	3	3	539	1,706
Total						4,206,464

Cuadro 4.15 Indicadores energéticos –Equipos especiales–

Tipología	Potencia total instalada por superficie (W/m ²)	Consumo por superficie por año (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	14.26	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.

**Cuadro 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.

En términos globales, el indicador del presente estudio es el más bajo. Aunque no es así, para los casos de iluminación interior y exterior y el de refrigeración. En el caso de equipos de oficina no es inmediata la comparación, ya que se desconoce lo que incluyen los otros estudios.

La Cuadro 4.17 muestra el resumen de estimación del consumo unitario de electricidad y el consumo total para las diferentes tipologías y usos finales.

Cuadro 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU en 2011 (1)

Tipología	Superficie m ²	Iluminación		Refrigeración	
		Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (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		
Tienda UNAM	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)					
Total	2,130,567	12.80	27,276,920	6.44	13,711,917

Cuadro 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y categoría CU en 2011 (2)

Tipología	Superficie m ²	Aire Acondicionado		Calefacción		Fuerza	
		Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)
Aulas	291,660						
Aulas con laboratorio	133,945	3.93	526,837			7.11	952,091
Biblioteca	52,190	3.93	205,276			2.59	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	1.19	300,709
Laboratorios independientes	754	0.21	162	0.62	465	2.99	2,251
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	0.92	31,640			0.15	5,082
Oficinas administrativas	175,862	5.37	944,538	0.62	108,422	0.27	47,687
Subtotal	1,079,894	2.65	2,858,997	0.32	350,065	1.34	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	1.68	3,583,423	0.16	350,629	0.88	1,870,893

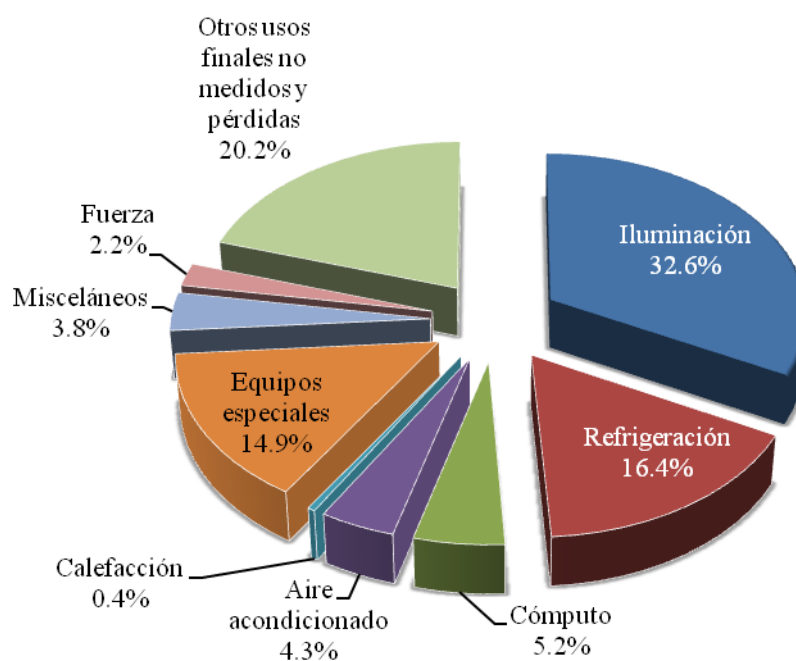
Cuadro 4.17 Consumo de electricidad por usos finales y tipología CU en 2011 (3)

Tipología	Superficie m ²	Cómputo		Misceláneo		Especial		Total	
		Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)	Consumo unitario (kWh/m ² por año)	Consumo (kWh/año)
Aulas	291,660							31.39	9,155,586
Aulas con Laboratorio	133,945	2.2	293,981	0.5	68,793	12.1	1,616,018	50.43	6,757,019
Biblioteca	52,190	0.5	26,173					43.56	2,274,700
Entidades de Investigación en Humanidades	138,205	0.5	69,308		5,490			14.06	1,952,842
Entidades de Investigación Científica	252,991	11.3	2,847,423	5.1	1,290,189	39	9,868,621	100.89	25,523,605
Laboratorios independientes	754	0.2	179	1	785	2.4	1,807	8.56	6,521
Talleres de conservación y mantenimiento	34,287	2.4	82,762	6.9	235,440	20.2	693,972	54.87	1,884,369
Oficinas administrativas	175,862	2.2	385,981		4,657			13.6	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	0.8	7,496	31.9	309,068	1	10,066	88.7	858,717
Unidades Médicas	20,102	2.8	56,188	1.4	27,169	9	180,408	21.35	427,948
Cines teatros y auditorios	43,731			0.6	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	2.5	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	514,340	175.9	1,175,750	15.3	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							20.3	300,106
Plantas de tratamiento								0	302,321
Pozos								0	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	2.03	4,315,799	1.47	3,141,565	5.85	12,472,827	39.23	83,572,535

La Cuadro 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

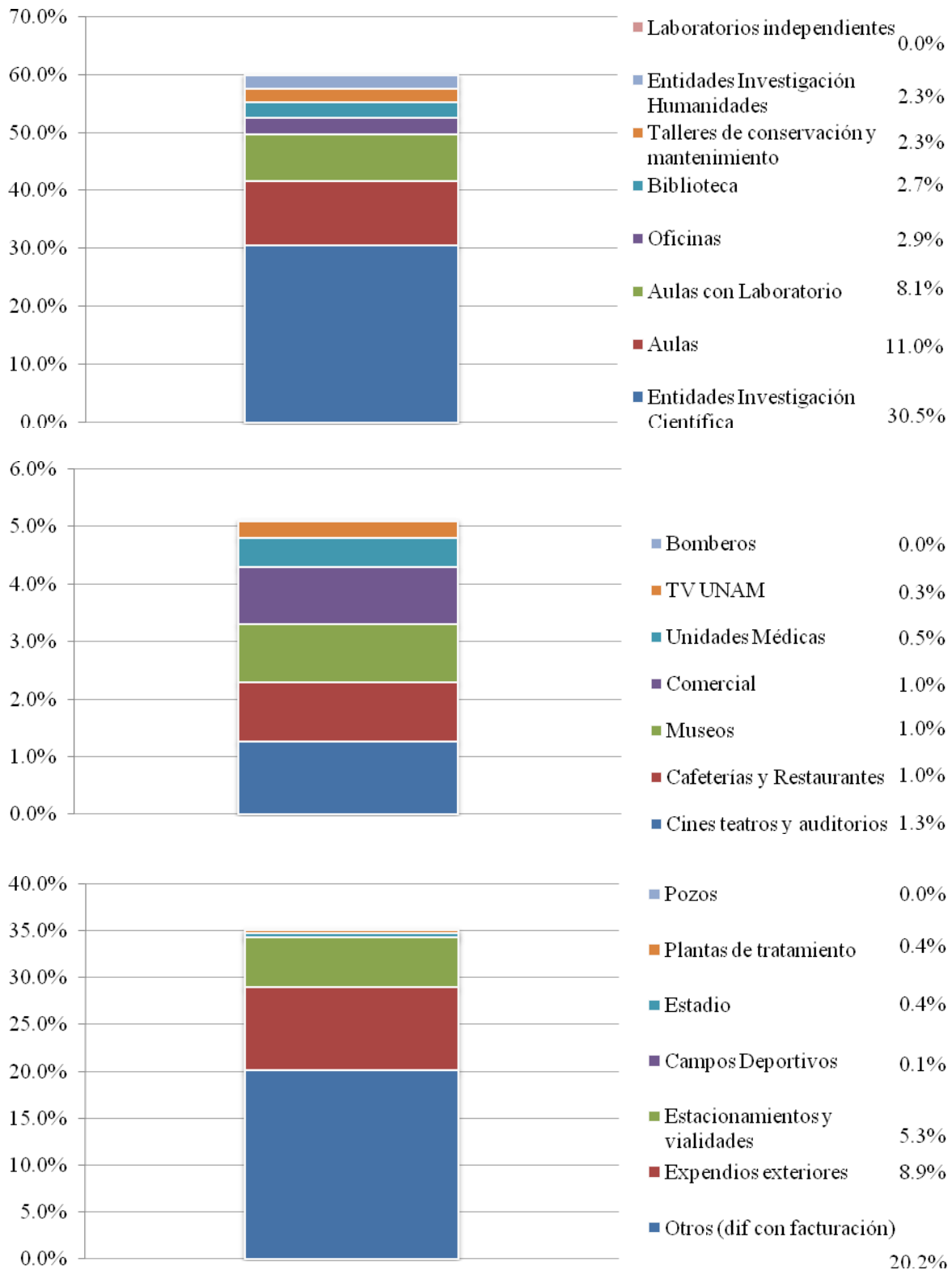
para el año 2011 de 66,723,977 kWh (suma de los subtotales: 49,942,783 + 4,273,116 + 12,508,078)

Sin embargo, el estimado de la facturación para el mismo año, es de 83,572,535 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.



4.3 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 Cuadro 4.18, las emisiones de CO₂ representan el 99.7% de las emisiones totales.

Cuadro 4.18 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

La Cuadro 4.19 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.

Cuadro 4.19 Emisiones de CO₂ por fuente de energía y uso final en CU

Fuente de energía / uso final	MtCO ₂ eq.
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

La mayor contribución la realiza el conjunto de entidades de la investigación científica, seguida por aulas y aulas con laboratorio. Por si 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.

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 Cuadro 4.20 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.

Cuadro 4.20 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)

Cuadro 4.21 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	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$
		Mt CO ₂ eq	%	%	%
Electricidad	CO ₂	45.88	17.5	5	18.20

Incorporando el promedio de incertidumbres para extrapolación y factores de emisión, la Cuadro 4.21 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%**

5. Comentarios y recomendaciones

Este trabajo analiza el consumo de energía en Ciudad Universitaria y las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas éste consumo.

No cabe duda de que las actividades asociadas al desarrollo económico, tecnológico, social, político y cultural de la humanidad están afectando el ambiente global. Una buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente de dióxido de carbono, son producto de las actividades humanas. La concentración de estos gases en la atmósfera está generando un calentamiento global y un cambio climático.

En México, más del 70% de la energía eléctrica se produce a partir de la quema de combustibles fósiles no renovables, como el petróleo o el carbón, generando grandes cantidades de bióxido de carbono, gas que contribuye al calentamiento global y al cambio climático.

Por lo tanto, un consumo responsable de la energía eléctrica se traduce en múltiples beneficios a nivel no solo local sino global, reduciendo el impacto ambiental y desacelerando el agotamiento de los recursos no renovables. Ciudad Universitaria tuvo un consumo, de acuerdo a la estimación realizada, de 83.6 GWh en 2011, lo que representa un pago de 159.8 millones de pesos, ésta energía es equivalente al consumo que tendrían 49 mil casas durante un año, lo cual ofrece una idea de la magnitud que se tiene en el consumo de electricidad y le da la importancia a realizar un consumo eficiente en las instalaciones de la universidad.

En el análisis se muestra la participación en el consumo de los diferentes usos finales: 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.

Del presente trabajo, se observa que la tipología con el mayor consumo de electricidad son las entidades (centros, institutos y facultades) de la investigación científica con el 31% del consumo total, seguidas por las aulas con el 11%, los expendios exteriores con el 9%, el 8% es el consumo de las aulas con laboratorio y a los estacionamientos y vialidades les corresponde el 5%.

Los indicadores por metro cuadrado (kW/m^2 y kWh/m^2) nos ayudan a comparar en los mismos términos a tipologías de inmuebles con las mismas características y así, poder realizar un programa de gestión de la energía enfocado, en un principio a los inmuebles que tiene un indicador más alto que el de los similares en la tipología. De estos indicadores, 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), por lo que se tiene potencial de ahorro de energía eléctrica en esos inmuebles.

En Ciudad Universitaria, las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía para 2011 alcanzaron las 49.58 millones de toneladas de CO₂eq, con una incertidumbre producto de la extrapolación en la obtención de datos y los factores de emisión del 20%. 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. De las emisiones totales el 99.7% corresponden al CO₂ y el resto es CH₄ y N₂O.

Las emisiones de CO₂eq. por usos finales se componen de la siguiente forma: la iluminación interior emite el 27% del total; la refrigeración emite un 16%, los equipos especiales un 15%, la iluminación exterior contribuye con el 6%, el equipo de cómputo emite el 5%, el uso de aire acondicionado emite el 4%, los equipos misceláneos generan un 4%, los equipos de fuerza (principalmente bombeo) producen un 2%, los equipos de calefacción producen el 0.4% y el restante 20% corresponde a las otras tipologías más las pérdidas por distribución.

La eficiencia energética es importante para la mitigación de GEI, en el tema de la iluminación interior, considerar sustituir todos los arreglos de tubos fluorescentes T12 por T8 y la instalación en nuevos edificios de arreglos T5, representaría el ahorro más importante en electricidad y se obtendría la mayor reducción en GEI de acuerdo a los usos finales de la energía que se tienen en C.U. La reducción siguiente se deriva de sustituir las computadoras de cinescopio por pantallas planas o por equipos de los llamados "Clientes Ligeros" ó "Escritorios Virtuales", que están orientados a usuarios que no requieren gran capacidad de almacenamiento y procesamiento, principalmente personal administrativo, éstos

equipos suelen manejar consumos energéticos menores que una PC tradicional, ahorrando hasta un 70% de energía eléctrica. En cuarto lugar, se encuentra la sustitución de los refrigeradores de expendios exteriores por equipos más eficientes, solicitando que el uso de 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. Por último, la sustitución de los equipos más antiguos de aire acondicionado por equipos más eficientes. Todas estas sustituciones han probado ser económicamente rentables los cual puede corroborarse en estudios de FIDE y diversos estudios nacionales.

Por otro lado se sugiere:

1. Instalar medidores de energía eléctrica en los edificios de CU.
2. Establecer esquemas de contribución (pago) por uso de energía eléctrica para los concesionarios de expendios exteriores.
3. 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.
4. 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.

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.

6. 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, Consultant Report, 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 Rector 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

7. Anexos

Anexo 1. Tarifa HM: Principio del formulario

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.

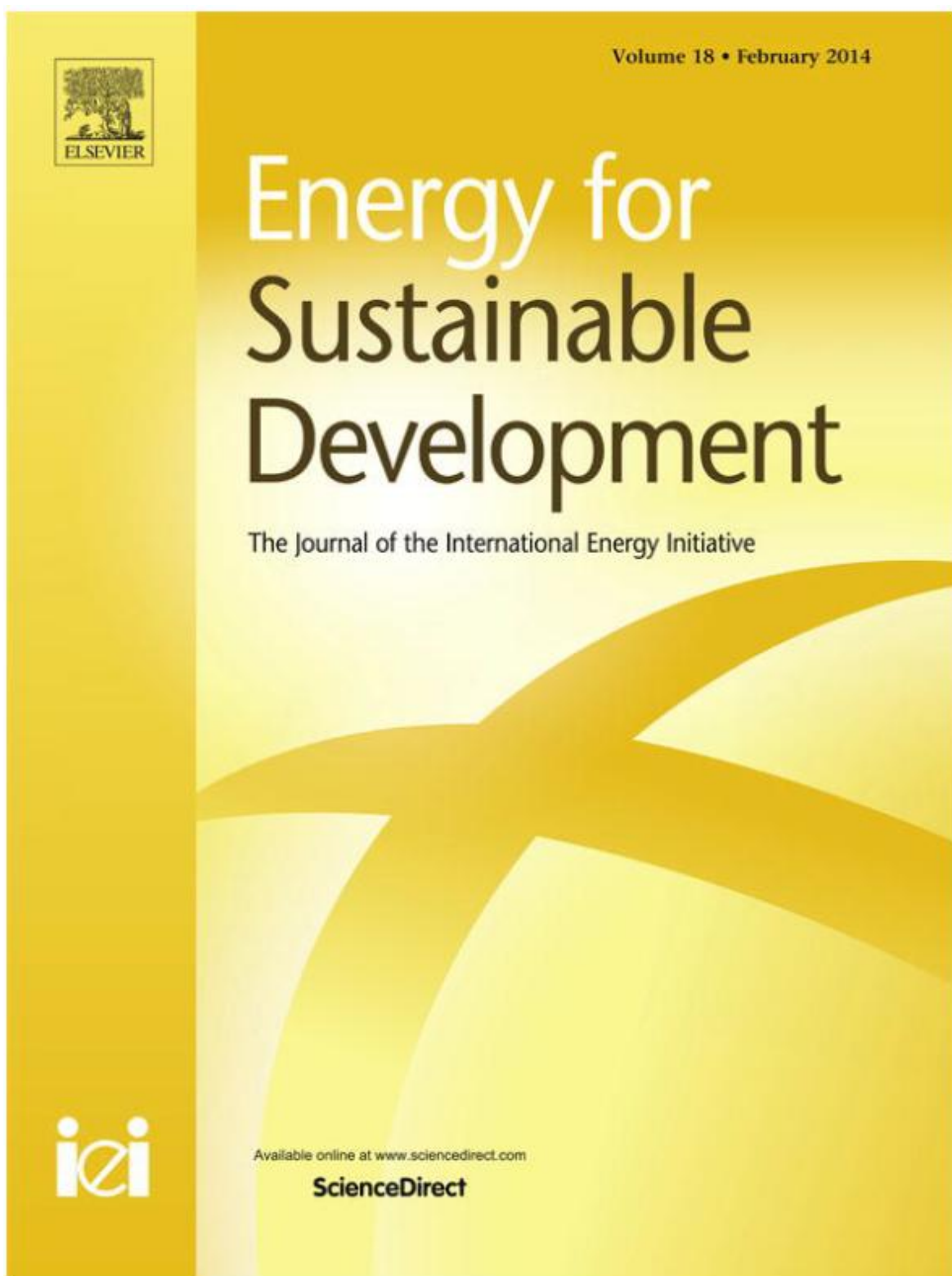
Tipología	Definición
Alberca	Instalaciones de la Alberca Olímpica Universitaria (alberca de competencias de natación, fosa de clavados, zona para polo acuático, cuarto de bombas, regaderas y baños).
Áreas exteriores	Áreas verdes y espacios abiertos o no, de uso común.
Aulas	Edificios cuya función principal 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.
Entidades de 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			197

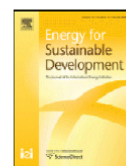
Anexo 4. Artículo en la revista Energy for Sustainable Development





Contents lists available at ScienceDirect

Energy for Sustainable Development



Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in Mexico

Azucena Escobedo^b, Sonia Briceño^a, Héctor Juárez^a, Daniel Castillo^a, Mireya Imaz^c, Claudia Sheinbaum^{a,*}^a Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México^c Programa Universitario de Medio Ambiente, Universidad Nacional Autónoma de México, México

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 June 2013

Revised 16 October 2013

Accepted 26 October 2013

Available online 20 November 2013

Keywords:

Energy savings
GHG mitigation
University campus
Mexico

ABSTRACT

This study estimates energy consumption and related GHG emissions for the buildings and facilities of the main university campus at the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The campus has a built area of 1.3 km². Based on the strategic plan of growth, a scenario analysis for 2020 was also developed estimating baseline and mitigation scenarios that include energy efficiency technologies and solar water heating. To estimate energy consumption, a representative sample of buildings and facilities by category was selected in order to develop level I and when possible level II energy audits. The study was complemented with results of level III energy audits performed in previous studies for some buildings. The bottom-up results from energy audits were compared to the electricity bill for the whole campus. We found that lighting represents 28% of total energy use, followed by special research equipment 17%, refrigeration 14%, and water heating that includes the Olympic swimming pool 9%. If energy efficiency technologies are applied for retrofitting and considered for new buildings in lighting, refrigeration, air conditioning; and a hybrid system (solar–electric–LPG) is used for water heating, energy consumption could be 7.5% less than in 2011 and CO₂ emissions 11.3% less than in 2011.

© 2013 International Energy Initiative. Published by Elsevier Inc. All rights reserved.

Introduction

This paper presents results from a study developed for the Environmental University Program (Programa Universitario de Medio Ambiente, PUMA) at the National Autonomous University of Mexico (UNAM in Spanish) to estimate energy consumption and related greenhouse gas (GHG) emission inventory, and project scenarios of buildings and facilities of the main university campus. The study was developed under the framework of the University *EcoPuma* project, whose ultimate objective is to reduce environmental impacts of the university's operation.

UNAM is the most important public university of Mexico and it has a long history. Its antecedent was the Royal and Pontifical University of Mexico, founded by King Philip II of Spain in 1551. In 1865, Emperor Maximilian closed the University, which was not re-opened until 1910 as the Mexico National University (Universidad Nacional de México). After the Mexican Revolution, the year 1929, the University reached autonomy in order to assure cultural development and scientific education¹ and it was given the name it holds till today: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (UNAM, 2013; UNESCO, 2013).

Since its creation, the University has occupied several locations in the historic center of Mexico City. Later, in the middle of the XX century,

the central and older zone of the university city (Ciudad Universitaria, CU), located in the south of the city, was built by more than 60 architects, engineers, muralists and artists. In 2007, the UNESCO declared it a world heritage center (UNESCO, 2013). It was declared a patrimonial site. The CU has grown from a built area of 0.2 km² in 1952 to 1.3 km² in 2011, distributed in a total area of nearly 7.2 km² (UNAM, 2011a).

By 2012, the UNAM had several campuses that together incorporate around 325 thousand students from high school² to postgraduate studies, and 45 thousand academics, of which 27% are full time. The CU is the largest campus with 39% of the UNAM's students, 56% of the academics, and most of the science and engineering research (UNAM, 2011b).

This study estimates electricity, LPG and diesel consumption for the CU's buildings and facilities, and related GHG emissions. Levels I and II energy audits were performed on a representative sample of buildings that allowed for calculating energy indicators for buildings and facilities by category (Thumann et al., 2010). The study was complemented with the analysis of CU electricity bills, fuel consumption data for certain facilities and level III energy audits for certain buildings developed by previous studies (Escobedo, 2009; Sánchez, 2007). The level I energy audit

* Corresponding author at: Instituto de Ingeniería, Edificio 12. Ciudad Universitaria, México DF 04510, México. Tel.: +52 5556233693.

E-mail address: csp@pumas.ingen.unam.mx (C. Sheinbaum).

¹ In general terms, Autonomy means that only the members of the university can define the University governance; the distribution of public resources, the study programs and plans, and the research themes and activities. Most of the University funds are public and from the Federal Government.

² Since 1910 when the Mexican National University (Universidad Nacional de México) was created, the National High School (Escuela Nacional Preparatoria – ENP) was incorporated to the University. The ENP was created in 1857 by President Benito Juárez as the first higher public education system with no relation to the church. There are now 14 high schools (9 “preparatorias” and 5 “colegios de ciencias y humanidades”) that belong to the UNAM. There is also a whole public high school system in the country that is not part of UNAM.

consisted in counting the energy appliances and its power capacity for all sample buildings. The hours of use was estimated based on manager building's and users interviews and direct observation. The surface area was obtained from university construction maps. Level II energy audit consisted in a more detail review of appliances in certain buildings that allow estimating energy saving costs. Level III energy audits include direct measurements in different buildings. Based on this information a CU's plans of growth, the study estimated a baseline energy consumption scenario for year 2020, and mitigation scenarios considering energy savings and the use of solar energy.

There are numerous articles on building energy audits, but considering the dimension of the CU and the characteristics of this study, some of them are more relevant to mention. For example, Yuan et al. (2012) evaluated energy consumption and conservation measures in university campus buildings in Northern China; and Su et al. (2012) developed a similar study for a university campus in Southern China.

Zhang and Xu (2012) evaluated end use consumption in a university campus based on energy consumption surveys; Vance and Boss (2012) developed an energy use comparative study for US colleges; and Hong et al. (2011) presented an energy consumption study for the University of Korea. On the other hand, Li (2008) developed a study of energy performance and efficiency improvement procedures of government offices in Hong Kong special administrative region; Eskin and Türkmen (2008) performed an analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey; Escrivá-Escrivá et al. (2010) modeled space conditioning load curves in a university building in the Universidad Politécnica de Valencia in Spain; Rahman et al. (2010) developed a study of energy conservation measures (ECMs) on heating, ventilating and air conditioning (HVAC) and lighting systems for a four-storied institutional building in sub-tropical (hot and humid climate) Queensland, Australia; Aljami (2012) performed an energy audit of an educational building in a hot summer climate in Kuwait; Zhou et al. (2012) analyzed the different functional areas and energy consumption data of large-scale public buildings according to the energy audit on 48 buildings in Shanghai; Desideri et al. (2012) presented results from the European project Educa-RUE: an example of energy efficiency paths in educational buildings.

The paper is divided into five sections. After the introduction, an overview of the CU's energy consumption is presented. The third section presents the methodology developed in the study. The fourth section presents results divided by inventory, baseline and mitigation scenarios and the fifth section presents the conclusions.

Overview of energy consumption in the CU

Electricity

The CU is powered by an electricity grid at 23,000 kV with four substations. Electricity is distributed by an underground network at 6500 kV and 111 transformers. The CU does not have electricity meters in buildings and installations, only in the substations; thus the electricity bill is paid by the central university administration.

The electricity bill is under a national electricity tariff called HM, the M is for medium voltage and the H is for hourly rates. HM tariff has charges for maximum power demand, as well as base, medium and peak energy consumption (CFE, 2013).

In September 2009 the public power utility that used to serve central Mexico (Luz y Fuerza del Centro) was shut down by presidential mandate and all its customers were absorbed by the national public power utility (Comisión Federal de Electricidad, CFE). The adjustment of this change provoked that from September 2009 to February 2011 the electricity bills were estimated by the power utility based on the electricity consumption of previous months. The measurement of power demand and electricity consumption started again in April 2011.

Fig. 1 presents the electricity consumption based on electricity bills as a sum up from the four substations in the period January 2007 to

December 2011 (skipping the period with no real metering). As shown, peak, medium and base load increased since September 2008. Also, in July 2011 the medium load consumption decreased, mainly because of the holiday period (although it is not clear why it did not decrease in previous years); and peak load in 2011 is considerably higher than the previous years. The decrease in peak load for the last months of 2011 is followed by an increase in medium load for the same months. This is due to the way medium and peak loads are measured for summer daylight and winter daylight.

Average monthly charge increased from 7.2 million pesos (700 thousand USD) in 2007 to 14.2 million pesos (1 million USD) in 2011. During the same time interval, average price per kWh in HM tariff only grew by 20% reaching 0.11 USD/kWh. This increase in electricity consumption can be explained by the fact that from January 2007 to December 2011 the CU floor constructed area augmented by 129.6 thousand of m² (Table 1). The CU's electricity consumption in 2011 reached 81.3 GWh (11 million of USD). This consumption represented 0.6% of the total CFE's electricity sales in Mexico City in that year (CFE, 2011).

LPG and diesel

Besides electricity, the fuels used in buildings and facilities in the CU are LPG and diesel. In contrast to electricity, these fuels are acquired by each university Department, so there is no record of total fuel consumption from the central administration of UNAM. In this case, quantification is made from a bottom-up energy audit, and only for the observations made in the study. LPG is used for water heating in the Olympic swimming pool, sports showers, cooking and restaurants, and for research purposes. Diesel is used for water heating in some isolated showers and for emergency plants. For these uses LPG and diesel annual consumption for 2011 was 53.4 TJ and 0.3 TJ respectively.

Methodology

Energy by surface area and end use

The study comprised buildings, green areas, exterior roofed corridors, and sporting campuses including the Olympic stadium. According to UNAM's records, in 2011, there were 2053 buildings and facilities occupying an area of 1.3 km² (UNAM, 2011c). A representative sample of buildings and facilities by category was selected in order to estimate energy consumption by end use. The representative of the sample was taken with a 95% confidence interval with a Margin of Error of almost $\pm 1\%$ with the exception of the vending kiosk where the Margin of Error was 5% (Schuenemeyer and Drew, 2011). Table 2 presents the total and selected buildings and surface area by category.

A level 1 and partial level 2 energy audits were carried out in the selected buildings and facilities (ANSI/ASHRAE, 2006; Thumann et al., 2010). The study was completed with information from constructed building maps that the research team had access to, and data from previous studies developed by Sánchez (2007) and Escobedo (2009) whom developed level III energy audits for certain university buildings. The energy audits were carried out by nearly 20 engineering students previously capacitated and coordinated by two masters in engineering with experience in building's energy audits.

In line with previous studies, the energy audits gathered information on power and time of use per day of the following electricity end use equipment: lighting, air conditioning, refrigeration, computer equipment, heating, special research equipment, motors, and miscellaneous; and for the following LPG and diesel end use equipment: water heating, cooking, emergency plants, and science research equipment.

Based on data collected from energy audits, an indicator of energy use by end use per square meter by category of building or facility was estimated. Once this indicator was obtained, it was multiplied by the total building and facility area in order to obtain total energy

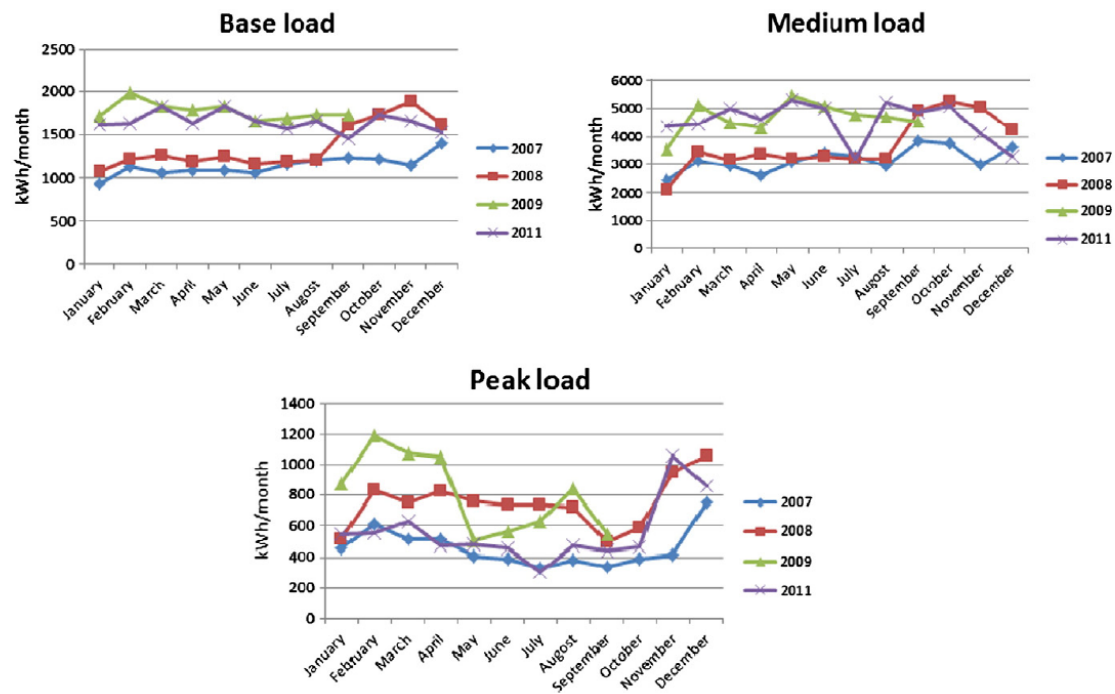


Fig. 1. Electricity consumption in the CU.

consumption by end use and by type of building or facility. Total electricity consumption by end uses is compared to total electricity consumption from the electricity bill. The difference is considered as other equipment's electricity consumption, or losses not accounted for in the study.

It is important to highlight that Mexico City has a tropical weather with not considerable climate differences over the year (see minimum and maximum average temperature for a site nearly CU, Fig. 2). Air conditioning is used in certain spring and summer days in offices and research building with computer or other special equipment, and individual electric heating equipment is used in few winter days in certain offices.

Base year

The study was developed in 2011. However, as explained in the Electricity section, the electricity bills were not metered from September 2009 to March 2011. For this reason estimation of yearly electricity consumption for 2011 was made assigning monthly consumption for

the not measured months (January to March) based on holiday and non-holiday periods of the measured months for winter daylight. Total consumption for 2011 resulted in 81.3 GWh.

Table 2
Study sample and total area of CU's buildings and facilities.

Category	Sample		Total Area (m ²)	m ² sample/m ² total
	Quantity	Area (m ²)		
<i>Buildings and facilities</i>				
Classrooms	16	48,467	291,660	17%
Classrooms with laboratory	8	27,421	133,945	20%
Libraries	2	16,968	52,190	33%
Social science and humanities research buildings	3	33,631	138,205	24%
Science and engineering buildings	12	114,683	253,745	45%
Conservation and maintenance areas	2	2836	34,287	8%
Offices	5	38,489	175,862	22%
Restaurants and cafeterias	3	2593	9690	27%
Medical units	1	20,102	20,102	100%
Movies, theaters and auditoriums	2	5988	43,731	14%
Museums	1	–	27,837	–
Super market	1	12,831	12,831	100%
TV building	1	–	7787	–
Firefighters building	1	–	460	–
<i>Exteriors</i>				
Exterior vending kiosk	18	370	6683	5.5%
Sport campuses	2	11,619	11,619	100%
Parking lots and streets	146,672	895,150	16%	
Olympic stadium	1	14,783	14,783	100%
Olympic swimming pool	–	–	–	–
Water treatment plants	–	–	–	–
Wells	–	–	–	–
Total		497,453	2,123,884	23%

Table 1
Floor area by category built in the University City (m²).
Source: Plan Rector (UNAM, 2011c).

Year	Annual increase					Total
	Classrooms	Research area	Extension	Offices	Total	
2007	5756	3749	22,755	4143	36,403	1,152,492
2008	502	91	0	0	593	1,153,085
2009	9170	722	0	0	9892	1,162,977
2010	3041	2112	1889	1663	8705	1,171,682
2011	51,916	13,843	690	7574	74,023	1,245,705

52

A. Escobedo et al. / Energy for Sustainable Development 18 (2014) 49–57

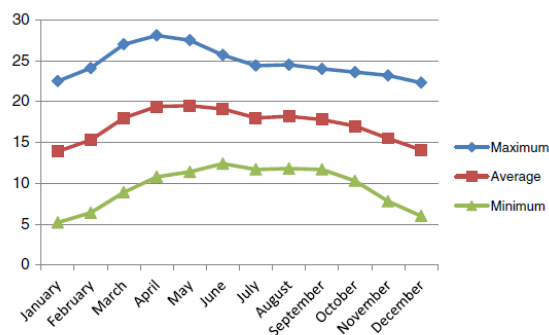


Fig. 2. Monthly average temperature over 30 years in Santa Úrsula Coapa, Mexico City (°C).

CO₂ emissions

Fuel emissions were calculated based on IPCC (2006a) methodology and emission factor. The electricity emission factor depends on the power generation efficiency, mix of primary energy sources and transmission losses as presented in Eq. (1):

$$FE_{elect,i,t} = \frac{\sum C_{j,t} FE_{j,i}}{GE_t(1-FP)_t} \quad (1)$$

where:

C_j	Fuel consumption j for electricity generation in year t
$FE_{j,i}$	Emission factor of GHG i of fuel j
GE_t	gross electricity generation in year t
FP_t	transmission and distribution losses in year t

In 2011, Mexico's fossil fuel consumption for electricity generation was 1793 PJ distributed as follows: 59% natural gas, 23% fuel oil, 17% coal, and 1.0% diesel. Gross electricity generation was 256.8 TWh in 2011, and the transmission and distribution losses were approximately 17% (CFE, 2012). Therefore the electricity emission factor for 2011 was 574.4 kg CO_{2eq}/MWh (159.6 t CO_{2eq}/TJ). For 2020 the electricity emission factor was calculated considering Mexican electric sector growth plan (CFE, 2012), according to

which it will be reduced to 516.6 kg CO_{2eq}/MWh (143.5 t CO_{2eq}/TJ) due to increased use of natural gas in combined cycle plants.

Scenarios

Baseline scenario was estimated considering the following suppositions: a) energy consumption by square meter is assumed to be constant at its 2011 value for years 2012 to 2020, this imply that the technologies and its pattern of use for all the end uses are the same than in 2011; b) surface area will grow according to the CU's strategic plan (UNAM, 2011b) of growth; and c) energy consumption is simply the multiplication of energy consumption by surface area ($\frac{E}{a}$) for end use "i", fuel "j" and building category "n" for base year (t_0) by the built surface area by category (a_n) in year t ; as presented in Eq. (2):

$$E = \sum_{i,j,n} \left(\frac{E}{a}\right)_{i,j,n,t_0} a_{n,t} \quad (2)$$

Mitigation scenarios are estimated considering energy efficient equipment and renewable energy both for retrofitting actual buildings and for accommodating future buildings and facilities. Under this assumption energy consumption by surface area for certain end uses and building categories ($\frac{E}{a}$) _{i,j,n} will change comparing to base year.

Technology costs are estimated based on annualized investment costs (IA) and operation costs (Op) that are considered as the annual fuel and electricity costs. Investment costs are annualized considering equipment lifetime (n) and a discount rate (i) of 12% that is used in Mexico for this type of projects, base on the following equation:

$$\text{Total annual costs} = IA + Op$$

where

$$I_A = \frac{P(1+i)^n}{(1-i)^n - 1} \quad (3)$$

Results

Electricity consumption for base year

Tables 3 and 4 present results of power and energy per surface area for different categories and end-uses respectively (number of hours

Table 3
Power by surface area (W/m²).

Buildings and facilities by category	Lighting	Refrigeration	AC	Space heating	Motors	Computer equipment	Miscellaneous	Special equipment
Classrooms	16.7							
Classrooms with laboratory	14.7	0.8	7.1		7.48	1.3	2.2	9.6
Libraries	15.7		7.1		1.3	1.3		
Social science and humanities research and professor buildings	8.2		0.4	0.24		0.3	0.2	
Science and engineering research and professor buildings	7.5	3.0	4.8	0.24	1.8	6.4	7.4	30.9
Conservation and maintenance areas	7.0	2.1	1.8		0.35	1.4	9.5	16.4
Offices	3.5		9.8		0.44	1.3	0.1	
Restaurants and cafeterias	12.4	3.5	0.7		7.71	0.5	25.8	2.2
Medical units	3.7	0.2	0.6		0.74	1.6	2.1	
Movies, theaters and auditoriums	17.9		9.8				1.3	
Museums	24.7		9.8					
Super market	24.7	1.4	46.4			1.4	9.5	
TV building	16.7							
Firefighters building	17.9							
Exteriors								
Exterior vending kiosk	23.1	106.4			10.6	4.4	230.0	
Sport campuses	7.7							
Parking lots and streets	1.6							
Olympic stadium	37.2							

Numbers obtained from energy audits. Surface area includes the whole building.

Table 4
Electricity consumption by surface area (kWh/m²).

Buildings and facilities by category	Lighting	Refrigeration	AC	Space heating	Force	Computer equipment	Miscellaneous	Special equipment
Classrooms	31.39	–	–	–	–	–	–	–
Classrooms with laboratory	18.15	6.48	3.93	–	7.11	2.20	0.50	12.10
Libraries	36.56	–	3.93	–	2.59	2.20	–	–
Social science and humanities research buildings	12.76	–	0.21	0.62	–	0.50	–	–
Science and engineering research buildings	13.53	25.76	4.43	0.62	1.19	11.30	5.10	39.00
Conservation and maintenance areas	8.72	15.65	0.92	–	0.15	2.40	6.90	20.20
Offices	5.10	–	5.37	0.62	–	0.27	–	–
Restaurants and cafeterias	22.78	26.32	0.45	–	5.40	0.80	31.90	1.00
Medical units	5.75	1.50	0.47	–	0.40	2.80	1.40	9.00
Movies, theaters and auditoriums	18.32	–	5.37	–	–	–	0.60	–
Museums	25.32	–	5.37	–	–	–	–	–
Super market	25.32	10.59	25.42	–	–	2.50	4.26	–
TV building	31.39	–	–	–	–	–	–	–
Firefighters	18.15	–	–	–	–	–	–	–
<i>Exteriors</i>								
Exterior vending kiosk	30.61	803.40	–	–	8.20	7.7	191.20	–
Sport campuses	6.43	–	–	–	–	–	–	–
Parking lots and streets	4.92	–	–	–	–	–	–	–
Olympic stadium	20.30	–	–	–	–	–	–	–

Numbers of hours used by technology and building category are in Table A1.

used per year by end use and category are presented in the Annex). According to the Mexican lighting energy standard (NOM-007-ENER-2004; DOF, 2007), power density for schools, libraries and theaters should not exceed 16 W/m², and for cinema theaters, 17 W/m². According to energy audit results, classrooms, movies, theaters and auditoriums have higher power densities than the mandatory standard. The reason for this is that most of these buildings were built before the publication of the standard.

Table 5 shows electricity consumption for different categories and end-uses. Lighting represented 33.6% of electricity consumption, followed by refrigeration (16.9%), special equipment (15.2%), computer equipment (4.9%), air conditioning (4.4%), miscellaneous (4.1%), motors (2.3%), space heating (0.4%), and others that are calculated from the difference between energy audit results and the CU electricity consumption obtained from the electricity bill (18.2%); “others” embodies equipment that was not included in either the energy audits or the energy losses (Fig. 3). Regarding building category, science and engineering research buildings represented 31.5% of electricity consumption,

followed by classrooms (11.3%), exterior vendor kiosk (8.6%), classrooms with laboratories (8.3%), and lighting in parking lots and streets (5.4%). These categories represented together 66% of electricity consumption. The high consumption of the research buildings can be explained because of the special experimental equipment with high electrical power demand.

The exterior vending kiosk electricity consumption stands out because kiosks are not part of the substantive functions of the university. In this category, refrigeration represents 72% of end uses, and motors 16% (Table 5). There are about 381 exterior vending kiosks recognized by the university, of which 90% sell food and drinks. The exterior vendor kiosks are small places (from two to four square meters) that sell all kinds of food ranging from industrialized to fresh. In this reduced spaces, there is an average of 2 glass door refrigerators with an average power of 1.3 kW. These places are run by private owners. The university grants official permits to the vendors, if they accomplish certain safety and control standards and in return they pay a monthly rent. None of the shops have an electricity meter. None of them pay for the electricity

Table 5
Electricity consumption by end use and building category (MWh).

Buildings and facilities by category	Lighting	Refrigeration	AC	Space heating	Motors	Computer equipment	Miscellaneous	Special equipment	Total	%
Classrooms	9156.5	–	–	–	–	–	–	–	9156	11.3
Classrooms with laboratory	2430.3	867.7	526.2	–	952.0	294.6	67.0	1620.2	6758	8.3
Libraries	1908.4	–	205.1	–	135.2	114.8	–	–	2364	2.9
Social science and humanities research buildings	1763.4	–	29.0	85.7	–	69.1	–	–	1947	2.4
Science and engineering research buildings	3432.6	6535.3	1123.9	157.3	301.9	2866.8	1293.9	9894.3	25,606	31.5
Conservation and maintenance areas	299.1	536.8	31.6	–	5.1	82.3	236.7	692.9	1884	2.3
Offices	897.1	–	944.6	109.1	47.5	387.0	–	–	2385	2.9
Restaurants and cafeterias	221.0	255.3	4.4	–	52.4	7.8	309.4	9.7	860	1.1
Medical units	115.6	30.2	9.4	–	8.0	56.3	28.1	180.9	429	0.5
Movies, theaters and auditoriums	800.6	–	234.7	–	–	–	26.2	–	1062	1.3
Museums	703.9	–	149.3	–	–	–	–	–	853	1.0
Super market	324.1	135.6	325.4	–	–	32.0	54.6	–	872	1.1
TV building	244.8	–	–	–	–	–	–	–	245	0.3
Firefighters	9.1	–	–	–	–	–	–	–	9	0.0
<i>Exteriors</i>									0	0.0
Exterior vending kiosks	205.1	5382.8	–	–	54.9	51.6	1281.0	0.0	6975	8.6
Sport campuses	74.6	–	–	–	–	–	–	–	75	0.1
Parking lots and streets	4404.4	–	–	–	–	–	–	–	4404	5.4
Olympic stadium	300.4	–	–	–	–	–	–	–	300	0.4
Water treatments plants	–	–	–	–	302.3	–	–	–	302	0.4
Well pumps	–	–	–	–	10.5	–	–	–	11	0.0
Others ^a	–	–	–	–	–	–	–	–	14,829	18.2
Total	27,291	13,744	3584	352	1870	3963	3297	12,398	81,326	100

^a Difference between results from energy audits and electricity bill.

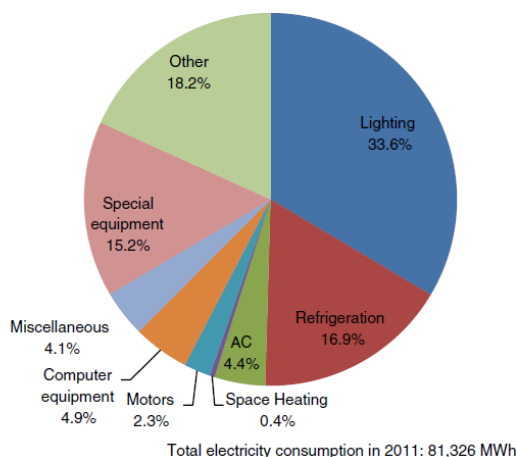


Fig. 3. Electricity consumption by end uses in the CU.

that they consume other than the monthly rent. In fact, these kiosks are a reflection of what happens in Mexico City. An informal market, that occurs in many large cities of the developing world.

LPG and diesel consumption for base year

Table 6 presents LPG, and diesel consumption for year 2011. As shown, diesel consumption is very small compared to LPG consumption, and it is used for water heating in worker and sporting campus's showers located in isolated areas, and to power emergency plants. LPG consumption is 53.7 TJ of which 57% is spent on heating the Olympic swimming pool, 27% on research buildings and 12% on restaurants and cafeterias.

Comparisons with other studies

It is difficult to compare energy use in university buildings for various reasons. One is the lack of data and second most published studies of energy consumption analysis in school building are in regions where space heating and cooling are more relevant than in Mexico City. Table 7 presents a comparison between this and other studies on energy intensity for school buildings (energy by floor area). Only in the USEIA (2008) we were able to find energy intensity by end use. In the other two cases the results are total energy by floor area.

Table 6
LPG and diesel consumption.

	Area (m ²)	Total LPG (Gj/year)	Total diesel (MJ/year)	MJ/year/m ²
Research and classrooms buildings ^a	421,977	14,700		34.84
Restaurants and cafeterias	9690	6800		701.75
Super market	12,831	180	1558	14.03
Water heating		190		
Swimming pool		31,800		
Emergency plants			607	
Total		53,670	2165	

^a Includes classrooms with laboratory; research buildings; science and engineering research buildings; laboratories, conservation and maintenance areas.

Table 7
Energy intensity comparison with other studies (MJ/m²).

	US Educational buildings ^a	Argentina ^b	Slovenia ^c	This study ^d
Space heating	447.15			2.23
Cooling	90.79			14.30
Ventilation	95.33			
Water heating	65.82			191.56 ^e
Lighting	130.51			67.03
Cooking	9.08			
Refrigeration	18.16			105.00
Office equipment	4.54			
Computers	38.59			17.17
Other	45.40			113.01
Total	943.10	276.8–847.4	349.2–1252.8	297.60

^a USEIA (2008).

^b Filippin (2000).

^c Butala and Novak, 1999.

^d Estimated for electricity, LPG and diesel. For comparison only interior area and vending kiosk are considered. Olympic swimming pool is not considered.

^e Only water heating for baths.

The main difference is clearly due to high consumption in space heating and cooling. However it is relevant the high consumption in refrigeration and water heating in our study compare to others.

GHG emissions

Total GHG emissions related to energy consumption in buildings and facilities of the CU reached 50.3 Tg of CO₂eq in 2011 (0.01% of national GHG emissions related to energy and 0.1% of the Mexico City's GHG

Table 8
GHG emissions of the CU buildings and facilities in 2011.

	Base year		Baseline		Mitigation scenario	
	2011		2020		2020	
	TJ	CO ₂ eq (Gg)	TJ	CO ₂ eq (Gg)	TJ	CO ₂ eq (Gg)
Electricity	292.77	46.73	309.38	44.40	285.50	43.87
Interior lighting	80.30	12.82	85.02	12.20	73.10	10.51
Exterior lighting	17.94	2.86	17.94	2.57	17.94	3.11
Refrigeration	49.48	7.90	51.31	7.36	45.01	6.42
Computer equipment	14.26	2.28	15.39	2.21	10.69	1.17
AC	12.90	2.06	15.04	2.16	11.09	1.61
Space heating	1.27	0.20	1.48	0.21	1.48	0.21
Miscellaneous	11.87	1.89	12.99	1.86	12.99	1.65
Motors	6.73	1.07	7.01	1.01	7.01	1.08
Special equipment	44.63	7.12	46.77	6.71	46.77	5.60
Others	53.38	8.52	56.41	8.09	56.41	12.09
Heating pumps					2.99	0.42
LPG	53.67	3.39	58.16	3.67	29.57	1.87
Special equipment	14.70	0.93	14.92	0.94	14.92	0.94
Cooking and water heating for cafeterias and restaurants	6.80	0.43	10.25	0.65	10.25	0.65
Water heating for showers	0.19	0.01	1.01	0.06	0.13	0.01
Super market	0.18	0.01	0.18	0.01	0.18	0.01
Water heating for Olympic swimming pool	31.80	2.01	31.80	2.01	4.09	0.26
Diesel	0.002	0.16	0.01	0.67	0.00	0.05
Water heating for showers	0.002	0.12	0.01	0.61		
Emergency plants	0.001	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05
Total	346.44	50.28	367.54	48.73	315.07	45.79
% 2020 to 2011			6.1%	-3.1%	-7.5%	-11.3%

National electricity emission factor goes from 159.6 kg CO₂eq/TJ in 2011 to 143.5 kg CO₂eq/TJ in 2020.

Table 9

Base year data uncertainty associated to GHG emissions. Based on IPCC methodology (IPCC, 2006b).

A	B	C	E	F	G
Categories	GHG	Base year emissions Input data Kt CO ₂ eq	Uncertainty for energy consumption Input data %	Uncertainty for emission factor Input data %	Combined uncertainty $\sqrt{(E^2 + F^2)}$ %
Electricity	CO ₂	46,726.4	17.5	5	18
LPG	CO ₂	3389.5	17.5	5	18
Diesel	CO ₂	160.4	17.5	5	18
Electricity	CH ₄	52.2	17.5	100	102
LPG	CH ₄	1.3	17.5	100	102
Diesel	CH ₄	0.2	17.5	100	102
Electricity	N ₂ O	99.6	17.5	1000	1000
LPG	N ₂ O	1.6	17.5	1000	1000
Diesel	N ₂ O	0.4	17.5	1000	1000
Total		50,432			20.27

emissions related to energy). Electricity consumption was responsible for 93% of GHG emissions, LPG with 6.7% and diesel 0.3%. In terms of end use, interior lighting represented 26% of GHG emissions, followed by special research and laboratory equipments (19%), and refrigeration (5%). Water heating for the Olympic swimming pool represented 3.2% of total CO₂eq emissions (Table 8).

Table 9 presents results of uncertainty in emissions according to IPCC methodology. The higher uncertainty is 20.3%. The reason for this high uncertainty number is that energy consumption data is not measured but accounted for by a sample (IPCC, 2006b).

Baseline scenario

According to the CU's strategic plan of growth (UNAM, 2011b), a 326.8 thousand m² increment in construction area for year 2020 is expected (that represents 26% of the actual area), according to the following criteria of growth: research and teaching areas, 5%; sporting areas, 55%, services, 36%; cultural; 4%. If the same proportion of category area within the sub-groups described in the strategic plan is maintained,

Table 10

Planned area increase (thousand of m²). Source: Adapted from strategic plan (UNAM, 2011a).

	2011	2020
Classrooms	291.7	296.1
Classrooms with laboratory	133.9	136.0
Libraries	52.2	53.0
Social science and humanities research buildings	138.2	140.3
Science and engineering research buildings	253.7	256.8
Conservation and maintenance areas	34.3	51.7
Offices	175.9	265.2
Restaurants and cafeterias	9.7	14.6
Medical units	20.1	30.3
Movies, theaters and auditoriums	43.7	51.2
Museums	27.8	32.6
Super market	12.8	12.8
TV building	7.8	7.8
Firefighters	0.5	0.5
Exterior vending kiosk	6.7	6.7
Sport campuses	11.6	191.1
Parking lots and streets	895.2	895.2
Olympic stadium	14.8	14.8
Total	2131	2457

Table 11

Assumptions for mitigation scenario.

	Savings	Life	Costs (USD)	% of substitution	% new
T12		20,000 h	21.5		
T8 ^a	Respect T12 30%	24,000 h	24	50	
T5	Respect T8 20%	24,000 h	37		80
LED	Respect T5	50,000 h	370		20
Refrigerators	30%	10 years	1600		
Air conditioning	20%	10 years	270		
TV-LCD	50%	10 years		60	100

Costs for lamps include ballast when needed. Cost of TV is not considered because kine-scope computers are not longer for sale.

Refrigerators are about 10 years old. New refrigerators are 30% more efficient according to Mexican standard (DOF, 2012). New commercial refrigerator technologies provided by companies are even 50% more efficient (Imbera, 2013).

Air conditioning (room) is only 20% more efficient for retrofitting and new buildings because about 70% of the equipments in the energy audit were new.

^a Only 50% substitution in lighting because 50% of lighting equipment is already T8 and 40% of computer equipment is LCD.

energy consumption and CO₂ emissions for year 2020 will be 2.2% higher than in 2011 (Table 10).

Table 8 shows energy consumption and GHG emissions for baseline and mitigation scenario. Energy consumption increases by 6.1% because most of the campus's growth is in sporting facilities and services that represent a small proportion of total energy consumption. GHG emissions reduce by 3.1% because the national electricity emission factor is expected to have a reduction of 10% from 2011 to 2020, this because of an increase in the use of natural gas for electricity generation in detriment of fuel oil.

Electricity, LPG and diesel consumption will grow by 6%, 8% and 312% for year 2020 respectively. The high raise in diesel is due to an increment in water heating for sporting areas and services; however it will represent less than 1% of total energy consumption. The share of GHG emissions by different end uses in year 2020 for the baseline scenario will be very similar to the base year.

Mitigation scenario

Mitigation scenarios consider more efficient technologies in terms of electricity consumption for lighting, refrigeration, air conditioning

Table 12

Retrofitting and new building energy consumption by surface area estimations (kWh/m²).

	Lighting		Refrigerator	AA	Computer.
	Retrofit	New	Retrofit and new	Retrofit and new	Retrofit and new
Classrooms	26.7	19.7			
Classrooms with laboratory	15.4	11.4	6.5	3.1	1.5
Libraries	31.1	23.0		3.1	1.5
Social science and humanities research buildings	10.8	8.0		0.2	0.4
Science and engineering research buildings	11.5	8.5	25.8	3.5	7.9
Conservation and maintenance areas	7.4	5.5	15.7	0.7	1.7
Offices	4.3	3.2		4.3	1.5
Restaurants and cafeterias	22.8	22.8	26.3	0.4	0.6
Medical units	5.8	5.8	1.5	0.4	2.0
Movies, theaters and auditoriums	18.3	18.3		4.3	
Museums	25.3	25.3		4.3	
TV building	31.4	31.4			
Super market	25.3	25.3			
Exterior vending kiosks	30.6	30.6	562.4		5.4

Based on considerations of Table 10.

Table 13
Mitigation costs.

	w	kWh/year	Electricity cost/year USD	Initial investment USD	Life (years)	Total (annual cost USD)	Emissions kg CO _{2eq} /year
Lighting T12	96	181	72	21.5	11	76	93
Lighting T8	67	127	51	24	13	54	65
Lighting T5	54	101	41	37	13	46	52
Led	38	71	28	370	27	75	37
Conventional refrigerator	1300	10,028	4011	1400	10	4259	5181
Efficient refrigerator	910	7020	2808	1600	10	3091	3626
Conventional AC	1200	661	264	270	10	312	342
Efficient AC	840	463	185	250	10	229	239

Discount rate: 12%.

Lighting annual average use hours are for classrooms (1884), Refrigerator (7714) Air conditioning (551). See Table A1.

Electricity price 0.4 USD/kWh.

and computer equipment, solar water heating for showers and swimming pool, and substitution of diesel with LPG for water heating.

In the period from 2009 to 2011, new efficient lighting equipment was installed in most of the CU's exterior lighting, including the Olympic stadium, this afforded a reduction of 1 GWh/year for this reason, additional exterior energy savings were not considered. For interior lighting a substitution of halophosphate T12 with triphosphor T8 lamps and electromagnetic to electronic ballasts was done for building retrofitting, and T5 and LEDs were utilized for new buildings. T12 lamps still represented 51% of the lamps in the sample study. Efficient refrigeration was proposed only for exterior vending kiosks by replacing refrigerators of more than 10 years old to new and more efficient ones (see Table 11). A more detailed study is needed to estimate the energy savings that could result from the replacement of older refrigerators in research areas, this saving potential could be important. Around 60% of the computer equipment from the sample study is based on CRT. A conservative 50% energy saving can be achieved by the substitution of old kinescopes for LCD-LED monitors (US Environmental Protection Agency, 2013; Webber et al., 2006). Tables 11 and 12 present the technology considerations and energy savings for retrofitting and new buildings. Table 8 shows the total energy savings and CO₂ emissions reductions for the mitigation scenario as compared to the baseline scenario.

For the Olympic swimming pool a hybrid system was considered: 550 solar panels, 28 electric heat pumps and LPG back up during some winter days (using one of the two actual LPG boilers). The reason to include all three systems is because the use of direct solar energy is not enough to heat water, especially during rainy season, which lasts nearly 4 months in Mexico City. Electric pumps are more efficient than the LPG water heating boilers. This option is selected because it signifies lesser energy costs and technology is available in Mexico.

In the case of showers a 30% solar heating system is considered according to the Mexico City standard for new commercial water heating systems (Gaceta Oficial del DF (GODF), 2006). Also, a substitution of diesel with LPG is included.

Considering these energy saving options, the total energy savings for year 2020 is 7.5% less than in 2011 and GHG emission reduction 11.3% less than in 2011. Energy savings are higher than GHG emission reduction because of the proposed increase in use of electricity for heat pumps in the Olympic swimming pool (Table 8).

Costs of mitigation technologies

Table 13 shows the calculation of technology costs, assuming a discount rate of 12% (used in Mexico for public institutions), and

2011 prices and USD exchange rate. Computer costs were not evaluated because eventually old technology is going to change in the coming years and conventional technology is no longer available.

Conclusions

The main university campus (CU) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) covers an area of nearly 7.2 km², of which 1.23 km² comprise the constructed area. It holds 130 thousand students, and the installations include facilities intended for teaching, research, sports, and many other activities. The CU's electricity bill in 2011 reported a consumption of 81.3 GWh that represented an expenditure of 11 million USD. For the same year, 53.7 TJ of LPG were consumed in restaurants and cafeterias, laboratory equipment and boilers for water heating, including the Olympic swimming pool that represented an annual expenditure of 963 thousand USD.

If efficient lighting and refrigeration is applied for retrofitting and new buildings, hybrid systems (solar-LPG-electricity) are adapted in the Olympic swimming pool and showers, and a substitution of diesel by LPG is developed, in year 2020 energy consumption will be 7.5% less than in 2011 and GHG emissions will be 11.3% lesser.

In order to achieve energy savings, related GHG emissions and a better energy management, the following recommendations were made to the University officials: a) substitution of T12 to T8 lamps; substitution of electromagnetic ballasts to electronic ballasts. Installation of T5 and LEDs in new buildings; b) installation of a hybrid system (solar-electricity-LPG) for the Olympic swimming pool, hybrid system (solar-LPG) for showers and substitution of diesel by LPG; c) develop an energy good practice manual for exterior kiosks, substitution of old for new refrigerators; d) promote the substitution of old kinescopes for new computer screens and energy saving modes; e) substitution of old air conditioning; f) install electricity meters in main buildings and exterior kiosks; g) develop an internal campaign for energy savings among workers, academic and students and h) develop a permanent monitoring system of energy consumption in the CU.

Acknowledgments

We would like to acknowledge the participation of Jesus Esteva, Mario Ugalde, Silvina Alonso, Augusto Sánchez, María Elena Huesca, Suriel Islas, Edgar Peña, Mariana Ramírez, and Giovanni Fonseca in the realization of the energy audits. Acknowledgement also goes to Sebastian Lelo de Larrea for the revision of the paper.

Annex

Table A1 presents average hours of use per end use and building category.

Number of hours per year by technology and building category.

Buildings and facilities by category	Lighting	Refrigeration	AC	Space heating	Motors	Computer equipment	Miscellaneous	Special equipment
Classrooms	1884							
Classrooms with laboratory	1231	7714	551		951	1758	228	1260
Libraries	2327		551		1992	1758		
Social science and humanities research and professor buildings	1564		512	2583		1758		
Science and engineering research and professor buildings	1804	8558	923	2583	661	1758	690	1262
Conservation and maintenance areas	1240	7382	523		429	1758	725	1232
Offices	1453		548		614	1758		
Restaurants and cafeterias	1831	7585	625		700	1758	1235	455
Medical units	1546	7895	746		541	1758	683	
Movies, theaters and auditoriums	1025		548				448	
Museums	1025		548					
Super market	1025	7564	548			1758	448	
TV building	1884							
Firefighters building	1016							
Exteriors								
Exterior vending kiosk	1326	7552			771	1759	831	
Sport campuses	834							
Parking lots and streets	3000							
Olympic stadium	546							

University has 6 weeks of administrative vacations. Students have 34 weeks of ordinary class and 4 weeks of exams. For example lighting in classrooms is equivalent to 9 h per day, 5 days per week for 40 weeks per year.

References

- Aljami A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate. *Energy Build* 2012;47:122–30.
- ANSI/ASHRAE. Standard 100-2006, energy conservation in existing building. Atlanta: American Society of Heating, Atlanta, GA: Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.; 2006.
- Butala V, Novak P. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. *Energy Build* 1999;29:241–6.
- Comisión Federal de Electricidad. Programa de Obras e Infraestructura del sector Eléctrico 2011–2025. Mexico. http://www.cfe.gov.mx/ConoceCFE/1_AcercaDeCFE/Paginas/Publicaciones.aspx, 2012.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Ventas por entidad federativa. <http://app.cfe.gov.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/>, 2011.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Definición y Precio de Tarifa HM. http://app.cfe.gov.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM, 2013.
- Desideri U, Leonardi D, Arcioni L, Sdringola P. European project Educa-RUE: an example of energy efficiency paths in educational buildings. *Appl Energy* 2012;97:384–95.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2012, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado. http://www.conae.gov.mx/wb/CONAE/CONA_1002_nom_publicadas_vigen, February 16th, 2012.
- Escobedo A. Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos; caso UNAM-CJ. [Ph.D thesis] México: Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México; 2009 [http://132.248.9.195/ptd2009/diciembre/0652191/index.html].
- Escrivá-Escrivá G, Álvarez-Bel C, Valencia-Salazar I. Method for modeling space conditioning aggregated daily load curves: application to a university building. *Energy Build* 2010;42:1275–82.
- Eskin N, Türkmen H. Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. *Energy Build* 2008;40:763–73.
- Filippin C. Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. *Buld Environ* 2000;35:407–14.
- Gaceta Oficial del DF (GODF). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005. Que establece especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas. <http://www.smadf.gob.mx/sitio/download/marco%20normativo/NADF-008-AMBT-2005.pdf>, 2006. [April 7th].
- Hong WH, Kim JY, Lee CM, Jeon GY. Energy consumption and the power saving potential of a university in Korea: using a field survey. *J Asian Archit Build Eng* 2011;10:445–52.
- Imbera. Commercial refrigerators. <http://imberacooling.com/refrigeracion-comercial/>, 2013.
- IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Good practices guidance energy; 2006a.
- IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories, vol. 2; 2006b [Reference manual].
- Li S. A study of energy performance and efficiency improvement procedures of Government Offices in Hong Kong Special Administrative Region. *Energy Build* 2008;40:1872–5.
- Rahman MM, Rasul MG, Khan MMK. Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Appl Energy* 2010;87:2994–3004.
- Sánchez A. Informe final del Diagnóstico energético/Ahorro de energía para el Macroproyecto: La Ciudad Universitaria y la Energía. México DF: Facultad de Ingeniería, UNAM; 2007.
- Schuenemeyer J, Drew L. Statistics for earth and environmental scientists. New Jersey: John Wiley & Sons; 2011.
- Su Y, Takaguchi H, Yan J. Analysis of energy consumption structure of a science and engineering university campus in Southern China. *J Environ Eng* 2012;77:399–407.
- Thumann A, William J, Niehus T. Handbook of energy audits. 8th ed. Lilbum, GA: The Fairmont Press; 2010.
- UNAM. 100 years of UNAM. <http://www.100.unam.mx/>, 2013.
- UNESCO. Central university city campus of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <http://whc.unesco.org/en/list/1250>, 2013.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Plan rector de Ciudad Universitaria. México DF: Dirección General de Obras y Conservación; 2011a.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Agenda estadística. México DF: Dirección General de Planeación; 2011b [http://www.planeacion.unam.mx/Agenda/2011/].
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sistema de Información de la Planta Física. México DF: General de Obras y Conservación; 2011c.
- US Energy Information Administration (USEIA). Commercial building energy consumption survey 2003, energy end-uses; 2008 [Oct. Table E.2A].
- US Environmental Protection Agency. ENERGY STAR qualified products. http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find_a_product, 2013.
- Vance L, Boss SK. The campus demotechnic index: a comparison of technological energy consumption at US colleges and universities. *Environ Dev Sustain* 2012;14:111–34.
- Webber CA, Roberson JA, McWhinney MC, Brown RE, Pinckard MJ, Busch JF. After-hours power status of office equipment in the USA. *Energy* 2006;31:2487–502.
- Yuan S, Hiroto T, Fulin W. Evaluation on energy consumption characteristics and effect of energy conservation measures in university campus buildings in Northern China. *J Environ Eng* 2012;77:605–14.
- Zhang J, Xu L. Energy consumption survey in a university campus with cogeneration system: end-use consumption of electricity part 2. *J Environ Eng* 2012;77:185–92.
- Zhou C, Zhu W, Jiang Y. Research and discussion on energy consumption indicators of different items of large-scale public buildings in Shanghai. *Int J Low-Carbon Technol* 2012;7:226–33.