



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia

**“Establecimiento de la Línea Base de Huella de
Carbono de los Estudiantes de la Universidad de
Sonora”**

TESIS

Que para Obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta

Gabriel Roberto Tiznado Palacios

HERMOSILLO, SONORA

NOVIEMBRE DE 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

VOTOS APROBATORIOS

Hermosillo, Sonora, a 21 de Noviembre de 2014.

DR. MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO
JEFE DEL DEPARTAMENTO
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

Por medio de la presente, nos permitimos informarle que los miembros del Jurado designado para revisar la Tesis Profesional "ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE HUELLA DE CARBONO DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA", presentada por:

GABRIEL ROBERTO TIZNADO PALACIOS

La han revisado y cada uno de los integrantes da su **VOTO APROBATORIO** ya que cumple con los requisitos parciales para la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

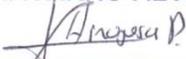
20/11/2014
Fecha


DR. RAFAEL ENRIQUE CABANILLAS LÓPEZ

20/11/2014

DR. PATRICIA NAVARRO ALVARADO

20/11/2014


DR. JESÚS FERNANDO HINOJOSA PALAFOX

20/11/2014


M.C. VIRGILIO RUBIO NIEBLAS

ÍNDICE

| Capítulo I | pág. |
|--|-------------|
| Introducción | 7 |
| Justificación | 8 |
| Antecedentes | 20 |
| Objetivos | 24 |
| Metodología | 24 |
| Herramientas Utilizadas | 25 |
| | |
| Capítulo II | |
| Marco Teórico | 26 |
| Otros Métodos de Cálculo | 31 |
| Protocolo de Gases de Efecto Invernadero | 32 |
| Balance de Carbono | 33 |
| Especificaciones Públicamente Disponibles (PAS 2050) | 33 |
| Método Compuesto de Cuentas Contables (MC3) | 34 |
| | |
| Capítulo III | |
| Metodología | 36 |
| Unidad Regional Centro | 36 |
| Fuentes de Información | 38 |
| Comisión Federal de Electricidad | 39 |
| Dirección de Infraestructura y Obras | 40 |
| Dirección de Planeación | 41 |
| Consumo Eléctrico per Cápita | 42 |
| Factor de Emisión | 42 |

Capítulo IV

| | |
|---|----|
| Resultados | 44 |
| Consumos Eléctricos Unidad Regional Centro-UNISON | 44 |
| Población Estudiantil | 51 |
| Consumo Eléctrico per Cápita | 53 |
| Cálculo de Huella de Carbono | 54 |

Capítulo V

| | |
|-----------------|----|
| Conclusiones | 57 |
| Recomendaciones | 58 |
| Bibliografía | 60 |

Lista de Figuras.

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Suministro Mundial de Energía por combustible | 10 |
| FIGURA 2. Producción Mundial de CO ₂ por combustible | 11 |
| FIGURA 3. Suministro de Energía por Combustible en México | 12 |
| FIGURA 4. Concentración de CO ₂ en la Atmósfera | 14 |
| FIGURA 5. Concentración de CO ₂ promedio en meses recientes | 15 |
| FIGURA 6. Diagrama explicativo del efecto invernadero | 19 |
| FIGURA 7. Distribución de emisiones de CO ₂ en la Universidad de Cape Town | 22 |
| FIGURA 8. Huella de Carbono de Algunas Universidades en el Mundo | 23 |
| FIGURA 9. Análisis Top-Down | 29 |
| FIGURA 10. Análisis Bottom-Up | 29 |
| FIGURA 11. Análisis Bottom-Up de una Universidad | 30 |
| FIGURA 12. Instalaciones de la Unidad Regional Centro | 38 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| TABLA I. Potenciales de contribución al calentamiento global, relativos al CO ₂ | 17 |
| TABLA II. Cuatro métodos actuales para la determinación de la Huella de Carbono | 31 |
| TABLA III. Equipos de Consumo Eléctrico | 37 |
| TABLA IV. Centrales Generadoras de Sonora | 40 |
| TABLA V. Emisiones de GEI por generación eléctrica de diversas tecnologías | 43 |
| TABLA VI. Normales Climatológicas de Hermosillo | 47 |
| TABLA VII. Consumo energético anual del campus centro de la URC | 49 |
| TABLA VIII. Generación eléctrica anual para URC | 50 |
| TABLA IX. Población estudiantil de los estudiantes de licenciatura en la URC | 52 |
| TABLA X. Consumo Eléctrico Per Cápita de los estudiantes de la URC | 54 |
| TABLA XI. Huella de Carbono de los estudiantes de la Universidad de Sonora | 55 |

Lista de Gráficas

| | |
|---|----|
| GRÁFICA 1 Consumo Eléctrico mensual de la URC-Universidad de Sonora. | 45 |
| GRÁFICA 2. Normales climatológicas de Hermosillo. | 47 |
| GRÁFICA 3. GWh consumidos anualmente en el campus. | 49 |
| GRÁFICA 4. Población Histórica de la URC. | 51 |
| GRÁFICA 5. Número de Alumnos Matriculados en una Licenciatura de la URC | 53 |

CAPITULO I

Introducción

A pesar de que vivimos en un tiempo donde el crecimiento poblacional, científico y tecnológico es cada vez mayor, el conocimiento que se tiene respecto a la emisión de contaminantes y las transformaciones que se producen en nuestro entorno no ha crecido con el mismo dinamismo. En esta investigación se presenta un estudio para calcular la Línea Base de Huella de Carbono (HC) en la Universidad de Sonora a través de la información de los consumos eléctricos y de la población estudiantil de la Institución.

La Huella de Carbono es un concepto implementado desde los años ochenta. Es un indicador de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producidas por una persona, organización o producto ya sea de manera directa o indirecta.

La Universidad de Sonora desde hace 15 años ha prestado un especial interés en el tema de la sustentabilidad, lapso en el cual ha creado distintos programas y proyectos que contribuyen a este enfoque ambientalista, con el fin de convertirse en una Universidad de corte sustentable, lo cual ha ido evolucionando desde una estructura simple de proyectos individuales y poco integrados, a una estructura compleja e implementada a través de un Sistema de Gestión Sustentable (S. G. S.) sistemático e integrado^[1, 2].

Por este motivo es importante agregar al S. G. S. la medición de las emisiones de CO₂, que se producen y se agregan en la atmósfera, con la finalidad de establecer una línea que funcione como base para estudios posteriores y que contribuya a la creación de una base de datos que sirva para sustentar acción más efectivas en años futuros.

Justificación

La Universidad de Sonora es una institución con un Programa Sustentable, que busca desarrollar actividades universitarias cada vez con menores efectos negativos en el ambiente, y el presente estudio es una herramienta que cuantifica la producción de CO₂ derivada de las actividades universitarias^[1].

En los últimos años la concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado a tasas cada vez más elevadas, de tal forma que la presencia de CO₂ en el aire que respiramos es la más alta registrada hasta el momento^[3]. La producción acelerada de CO₂ es originada principalmente por la quema de combustibles fósiles para la obtención de energía, es decir, este aumento de la concentración de CO₂ está directamente relacionado con las actividades humanas.

La mayoría de los científicos especialistas en el tema, concuerdan que la presencia CO₂ en altas concentraciones, agudiza el fenómeno conocido como

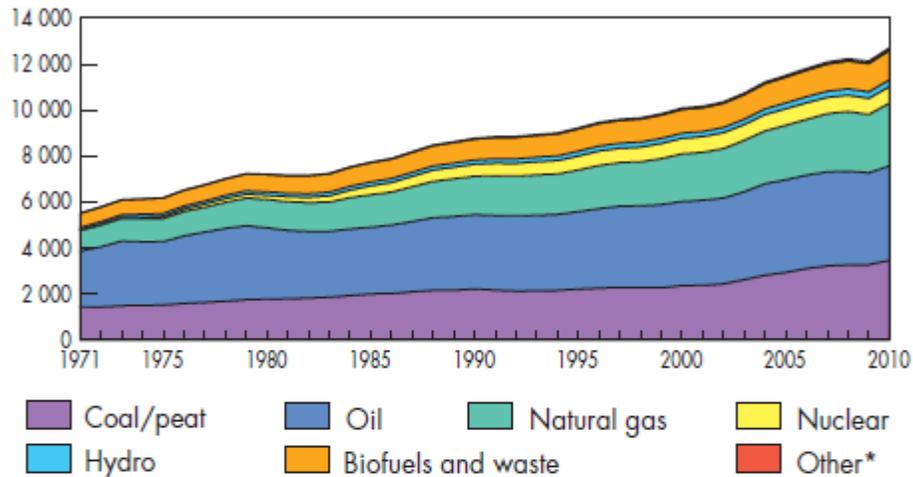
Efecto Invernadero, provocando un incremento en la temperatura promedio mundial. A esta alza de temperatura se le conoce como Calentamiento Global, el cual puede causar graves cambios en el sistema climatológico de nuestro planeta.

Producción de Energía.

A pesar de que la producción de energía generada a partir de la quema de combustibles fósiles se remonta a la Revolución Industrial; y aunque hoy en día existen, y se siguen desarrollando, técnicas para producir energía a partir de procesos cuyas emisiones directas de CO₂ son cercanas a cero (como la energía solar térmica, solar fotovoltaica, eólica entre otras) la quema de combustibles con base en carbono sigue siendo la técnica más utilizada para generar energía eléctrica. De esta manera mientras más energía eléctrica se produzca más emisiones de CO₂ estaremos emitiendo a la atmósfera. En la Figura 3 se observa la evolución de la energía primaria en el mundo y las contribuciones de cada energético para el periodo comprendido entre 1973 a 2010.

World

World total primary energy supply from 1971 to 2010
by fuel (Mtoe)



1973 and 2010 fuel shares of TPES

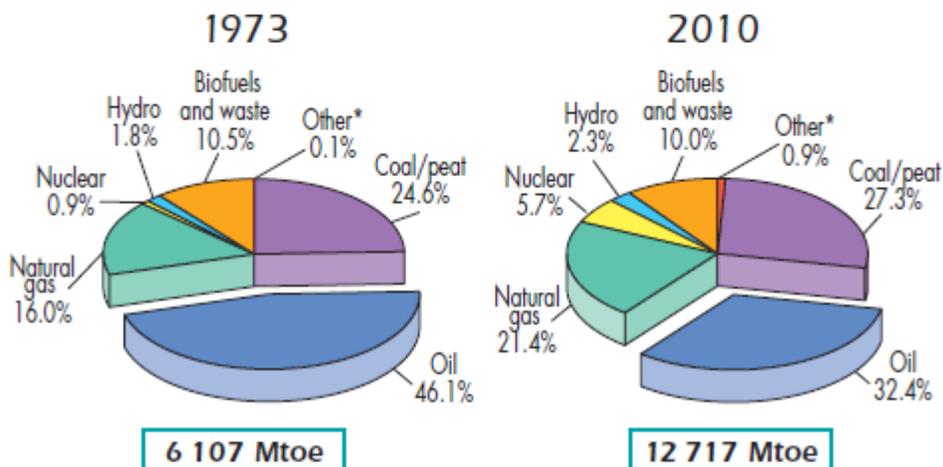


FIGURA 1. Suministro Mundial de Energía Primaria por combustible^[4].

Se observa que en este periodo la producción primaria de energía aumentó en un 100%, es decir se dobló la cantidad total, al pasar de 6,000 Mtoe (Millones de toneladas de petróleo equivalente) en 1971 a 12,000 Mtoe en 2010. El uso

de los combustibles fósiles también ha crecido; aunque existen algunas variaciones en sus participaciones particulares, por ejemplo el petróleo pasó de una contribución del 46.1% al 32.4% desplazado por incrementos del carbón, del gas natural y de la energía nuclear. De la misma manera que aumentó el uso de combustibles fósiles, se incrementó la producción CO₂. La Figura 4 muestra la producción de CO₂ mundial por combustible en el periodo de 1973 al 2011^[4]. Se puede notar que, además de que el CO₂ se duplicó, las aportaciones del carbón y gas natural aumentaron.

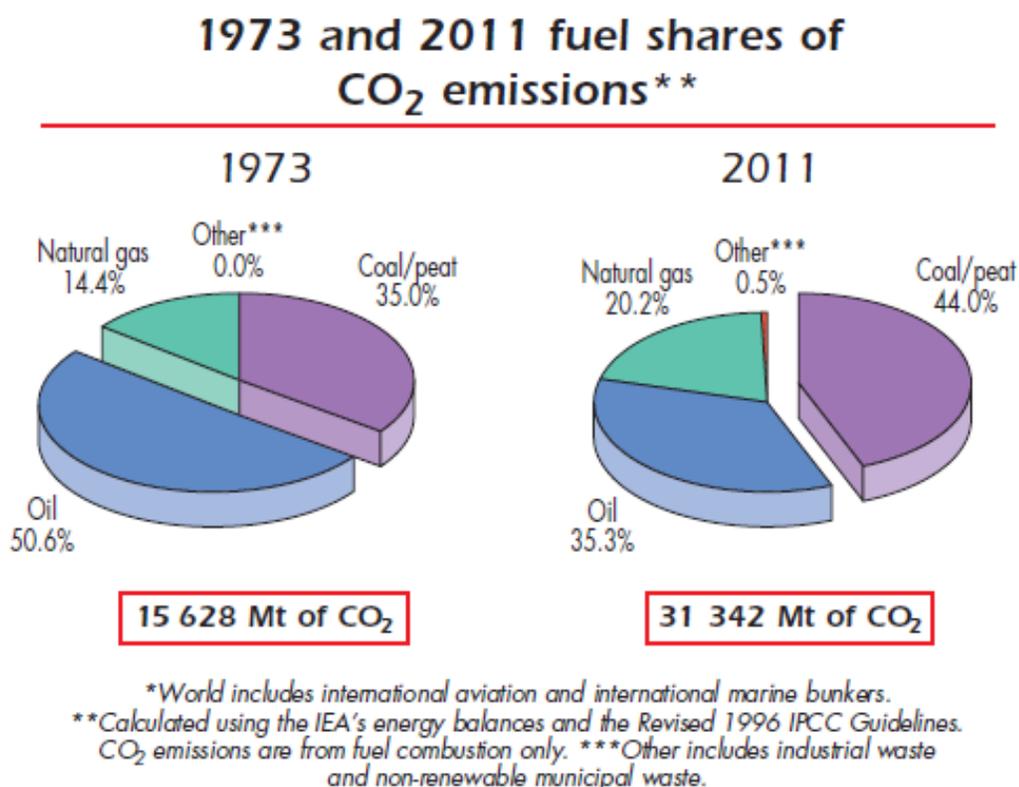


FIGURA 2. Producción Mundial de CO₂ por combustible^[4].

El caso particular para México se observa en la Figura 5, en la cual se hace notar que la producción primaria de energía aumento más de 4 veces el periodo de 1971 al 2009. Se observa además un gran aumento en el uso del petróleo, gas natural y en menor medida el carbón; mientras que energías como la nuclear, geotérmica, solar entre otras no han aumentado en gran escala.

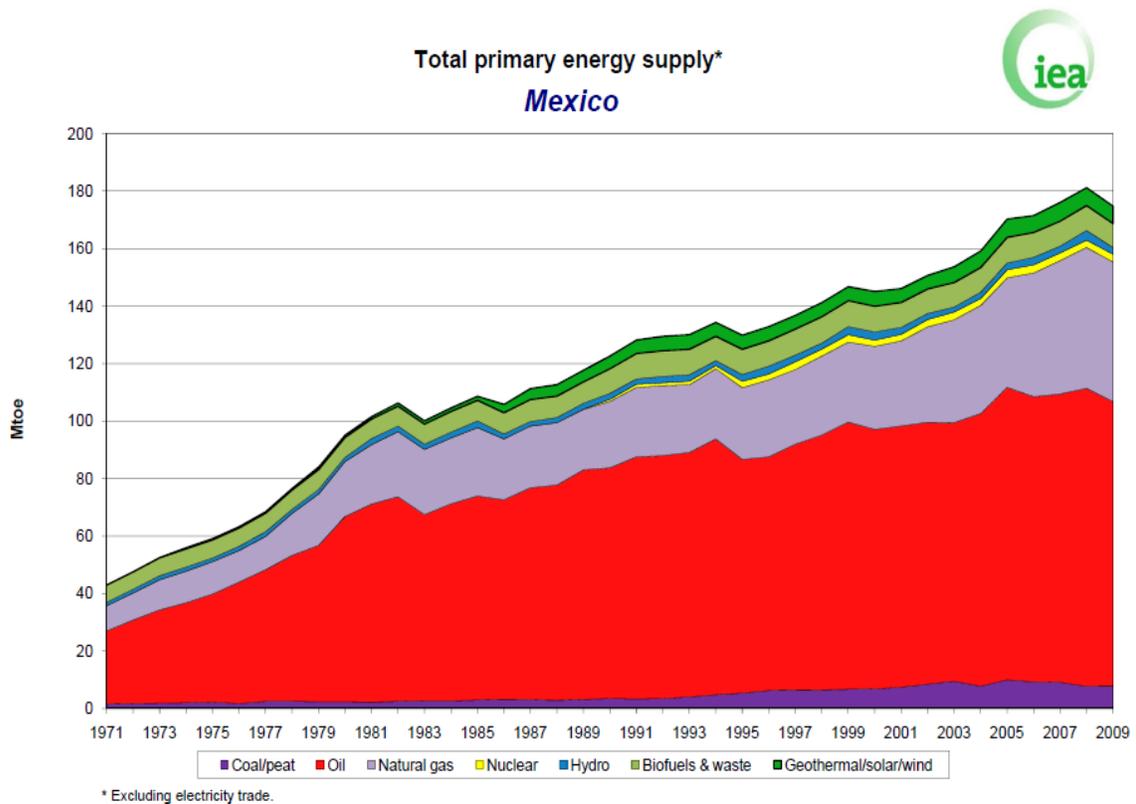
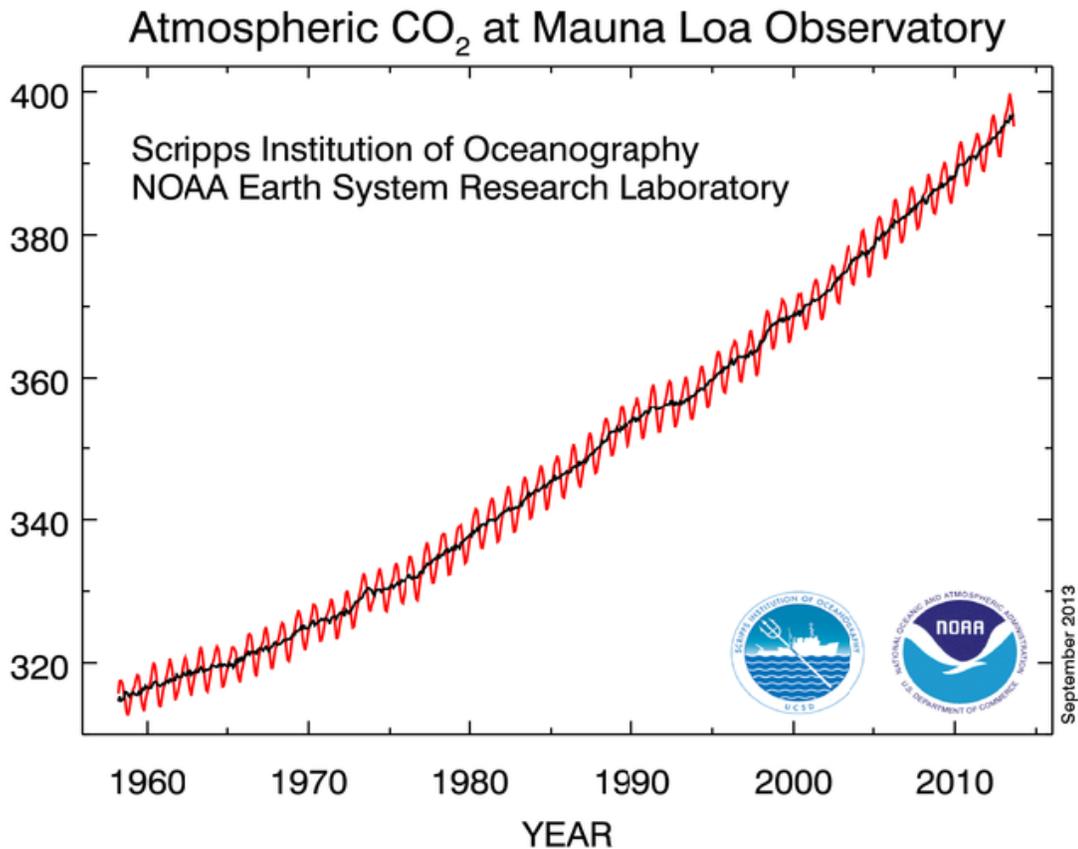


FIGURA 3. Suministro de Energía Primaria por Energético en México^[5].

Lo que se puede inferir de la figura 5 es que mientras exista una dependencia al uso de los combustibles fósiles se tendrá un incremento en la concentración de CO₂ atmosférico, de ahí la relevancia de la presente investigación ya que es a través de la Huella de Carbono como se mide el impacto contaminante a la atmósfera.

Crecimiento de CO₂ Atmosférico

En el 2012 la concentración de CO₂ en la atmósfera tenía un valor de 387ppm, o lo que bien se puede decir el 0.0387% de la atmósfera. A través del periodo de 1960-2010 la concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado 1.45ppm (± 0.58 de desviación estándar) anualmente. Aun así el crecimiento de la concentración de este contaminante ha tenido solo 2 grandes cambios: de 1958 a 1984 la concentración tenía un crecimiento de 1.14ppm por año, y en el periodo de 1985-2011 el crecimiento anual era de 1.74ppm. Estos crecimientos en la concentración son relacionados directamente en su gran mayoría al crecimiento poblacional y el uso de combustibles, así como una mínima parte por la actividad volcánica y la presencia de algunos fenómenos naturales^[6]. Esta progresión de la concentración se muestra en la Figura 6:

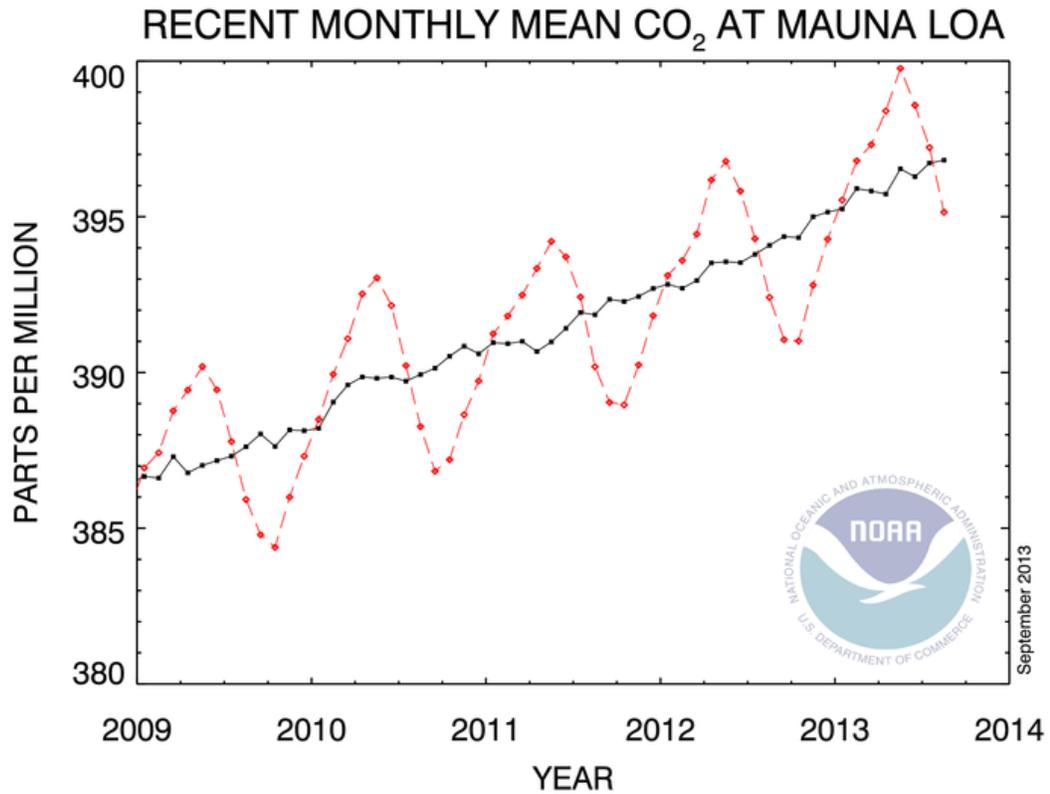


Tomado desde NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration.)
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

FIGURA 4. Concentración de CO₂ en la Atmósfera^[3].

En las últimas mediciones realizadas en el Centro de Medición Atmosférica en Mauna Loa, Hawái en el año 2013, se presentó uno de los niveles de CO₂ más elevados en la historia, con un nivel de 400ppm, como se muestra en la Figura 7. Este nivel se había presentado únicamente en el pleistoceno, hace aproximadamente 2 millones de años, mientras que el nivel medido en 1958 fue de 315ppm. Esto nos da una idea del acelerado ritmo de crecimiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Pieter Tans, de la National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional de Océanos y Atmósfera o

NOAA por sus siglas en inglés) establece en sus estudios que este incremento “es ciento por ciento debido a las actividades humanas”^[7].



Tomado desde NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration.)
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

FIGURA 5. Concentración de CO₂ promedio en meses recientes^[3].

Según la International Energy Agency (IAE) en el año 2008 el 32% del uso de los combustibles fósiles es destinado a la producción de energía eléctrica, lo que provoca que el 41% de las emisiones de CO₂ sean relacionadas a la producción de energía^[8].

La importancia que el dióxido de carbono y otros gases contaminantes representan en el efecto invernadero de la atmósfera terrestre puede verse reflejado en el término acuñado como “Potencial de Calentamiento Global” (PCG), el cual es obtenido y expresado a través de la relación de impacto que proporciona el CO₂ a la atmósfera, es decir que el PCG para el dióxido de carbono corresponde a la unidad. En la Tabla I se muestran las contribuciones a la atmósfera de varios gases contaminantes^[9].

TABLA I. Potenciales de contribución al calentamiento global, relativos al CO₂ [7].

| | | | | | |
|---|-----------------|--------|---|----------------------|--------|
| Dióxido de C | CO2 | 1 | Compuesto Perfluorados | | |
| Metano | CH4 | 25 | Hexafluoruro de S | SF6 | 22,800 |
| Oxido Nitroso | N2O | 298 | Tetrafluoruro de N2 | NF3 | 17,200 |
| Sustancias Controladas según el protocolo de Montreal | | | PFC-14 | CF4 | 7,390 |
| CFC-11 CCl3F | | 4750 | PFC-116 | C2F6 | 12,200 |
| CFC-12 | CCl2F2 | 10,900 | PFC-218 | C3F8 | 8,830 |
| CFC-13 | CClF3 | 14,900 | PFC-318 | c-C4F8 | 10,300 |
| CFC-113 | CCl2FCClF2 | 6,130 | Trifluorometil pentafluoro de S, SF5CF3 | | |
| CFC-114 | CClF2CClF2 | 10,000 | Éteres fluorados | | |
| CFC-115 | CClF2CF3 | 7,370 | HFE-125 | CHF2OCF3 | 14,900 |
| Halon-1301 | CBrF3 | 7,140 | HFE-134 | CHF2OCHF2 | 6,320 |
| Halon-1211 | CBrClF2 | 1,890 | HFE-143a | CH3OCF3 | 756 |
| Halon-2402 | CBrF2CBrF2 | 1,640 | HdCFE-235da2 | CHF2OCHdClCF3 | 350 |
| Tetracloruro de Carbono | CCl4 | 1,400 | HFE-245cb2 | CH3OCF2CHF2 | 708 |
| Bromuro de Metilo | CH3Br | 5 | HFE-245fa2 | CHF2OCH2CF3 | 659 |
| Metil Cloroformo | CH3CCl3 | 146 | HFE-254cb2 | CH3OCF2CHF2 | 359 |
| HdCFC-22 | CHdClF2 | 1,810 | HFE-347mcc3 | CH3OCF2CF2CF3 | 575 |
| HdCFC-123 | CHdCl2CF3 | 77 | HFE-347pcf2 | CHF2CF2OCH2CF3 | 580 |
| HdCFC-124 | CHdClFCF3 | 609 | HFE-356pcc32 | CH3OCF2-CF2CHF2 | 110 |
| HdCFC-141b | CH3CCl2F | 725 | HFE-449sl (HFE-7100) | C4F9OCH3 | 297 |
| PFC-3-1-10 | C4F10 | 8,860 | HFE-43-10-pccc124 (H-Galden1040x) | CHF2OCF2O-C2F4OCHF2 | 1,870 |
| PFC-4-1-12 | C5F12 | 9,160 | HFE-236ca12 (HG-10) | CH2OCF2-OCHF2 | 2,800 |
| PFC-5-11-14 | C6F14 | 9,300 | HFE-338pcc13 (HG-01) | CHF22OCF2CF2CF2OCHF2 | 1,500 |
| PFC-9-1-18 | C10F18 | >7,500 | Perfluoropolieters | | |
| HdFCFC-142b | CH3CClF2 | 2,310 | PFPMECF3OCF(CF3)CF2OCF2OCF3 | | 10,300 |
| HdCFC-225ca | CHdCl2CF2CF3 | 112 | Hidrocarburos Compuestos | | |
| HdCFC-225cb | CHdClFCF2CClF2 | 595 | Dimetileter CH3OCH3 | | |
| HFC-23 | CHF3 | 14,800 | Cloruro de Metileno | CH2Cl2 | 8.7 |
| HFC-32 | CH2F2 | 675 | Cloruro de metilo | CH3Cl | 13 |
| HFC-125 | CHF2CF3 | 3,500 | | | |
| HFC-134a | CH2FCF3 | 1,430 | | | |
| HFC-143a | CH3CF3 | 4,470 | | | |
| HFC-152a | CH3CHF2 | 124 | | | |
| HFC-227ea | CF3CHFCF3 | 3,220 | | | |
| HFC-236fa | CF3CH2CF3 | 9,810 | | | |
| HFC-245fa | CHF2CH2CF3 | 1,030 | | | |
| HFC-365mfc | CH3CF2H2CF3 | 794 | | | |
| HFC-43-10mee | CF3CHFCHFCF2CF3 | 1,640 | | | |

La Tabla I muestra que existen gases que causan un impacto más fuerte a la atmósfera muchos de estos no se presentan tan comúnmente y/o en la misma

proporción que el dióxido de carbono, siendo este el principal causante del calentamiento global.

Efecto Invernadero y Calentamiento Global

El fenómeno conocido como Calentamiento Global está directamente relacionado al Efecto Invernadero, este efecto permite que el globo conserve una energía tal que la temperatura sea óptima para vida en la tierra. La energía es captada directamente desde el sol y absorbida por la superficie terrestre, y es nuevamente emitida por la tierra hacia la atmósfera y de vuelta al espacio. La atmósfera es el análogo a las ventanas de un invernadero que “atrapa” o conserva el calor dentro de este^[10, 11]. Este fenómeno se encuentra esquematizado en la Figura 8:

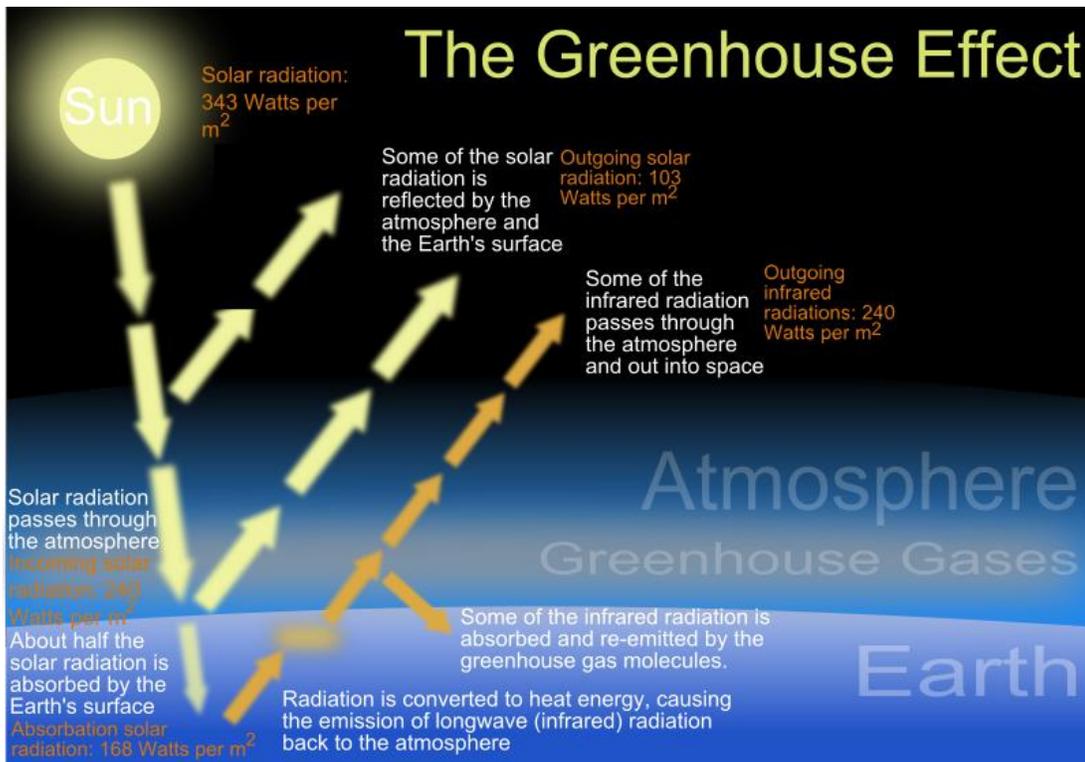


FIGURA 6. Diagrama explicativo del efecto invernadero^[12].

Cuando la energía es emitida por la tierra es reabsorbida por la atmósfera y las nubes, eso aunado ahora a la presencia de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ocasiona que el calor sea retenido por mayor tiempo antes que este pueda salir de la atmósfera terrestre. A esta retención o más bien al exceso de la retención de energía se le conoce como Calentamiento Global que, como su nombre lo indica, causaría aumento en la temperatura del planeta causando graves cambios al sistema climático terrestre.

Si se toma en cuenta que las emisiones de GEI a la atmósfera son cada vez mayor este fenómeno seguirá presentándose cada vez con más intensidad, lo que ocasiona consecuencias como:

- Temperaturas más cálidas.
- Sequías, erosión e incendios forestales.
- Tormentas más intensas.
- Olas de calor y propagación de enfermedades.
- Huracanes más peligrosos y poderosos.
- Derretimiento de los glaciares.
- Aumento en el nivel del mar^[13].

Es por eso que se tiene que buscar una forma de monitorear y reducir las emisiones nocivas hacia la atmósfera y la huella de carbono es la herramienta idónea para hacerlo. Éste trabajo dotará la Universidad de Sonora con una metodología que sirva de base para obtener información acerca de las emisiones de GEI y que tenga la capacidad de mejorar con el tiempo, para esto será necesario contar con la información del consumo eléctrico de la UNISON y de la población estudiantil.

Antecedentes

Desde que la concentración de CO₂ en la atmósfera llegó a uno de sus puntos más elevados y empezó a causar impactos negativos, tanto en las personas

como en la atmósfera, se han tomado acciones para disminuir las emisiones de este contaminante y de otros Gases de Efecto Invernadero (GEI). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) fue la primera en atender los problemas derivados del impacto en la atmósfera de las emisiones antropogénicas de los GEI, así el 11 de Diciembre de 1997 se firma el Protocolo de Kyoto y entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005^[14].

El Protocolo de Kyoto se firmó con el fin de promover el desarrollo sostenible al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones de GEI (párrafo 1, artículo 2). También establece que se formularán, aplicarán, actualizarán y publicarán programas nacionales, y en su caso, regionales, que contengan medidas para mitigar el cambio climático, tales programas guardan relación con la energía, el transporte, y la industria así como la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos (Apartado 1, inciso b artículo 5)^[14].

Por su parte la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) estableció varias normas para la cuantificación y declaración de las emisiones de GEI, la más reciente es la ISO 14064-1:2006^[15]; mientras que la ISO 50001:2011 es enfoca en sistemas de gestión de energía^[16].

Siguiendo estas técnicas se llevaron a cabo estudios en varias Universidades, una de ella Cape Town University (CTU) en Sudáfrica, que en el 2010 reportó un cálculo de 4 Toneladas de CO₂ por estudiante teniendo como las principales

fuentes de CO₂ la energía consumida en el campus, que representa el 81% de las emisiones; y el transporte vehicular hacia el mismo. La distribución se presenta en la Figura 1^[17].

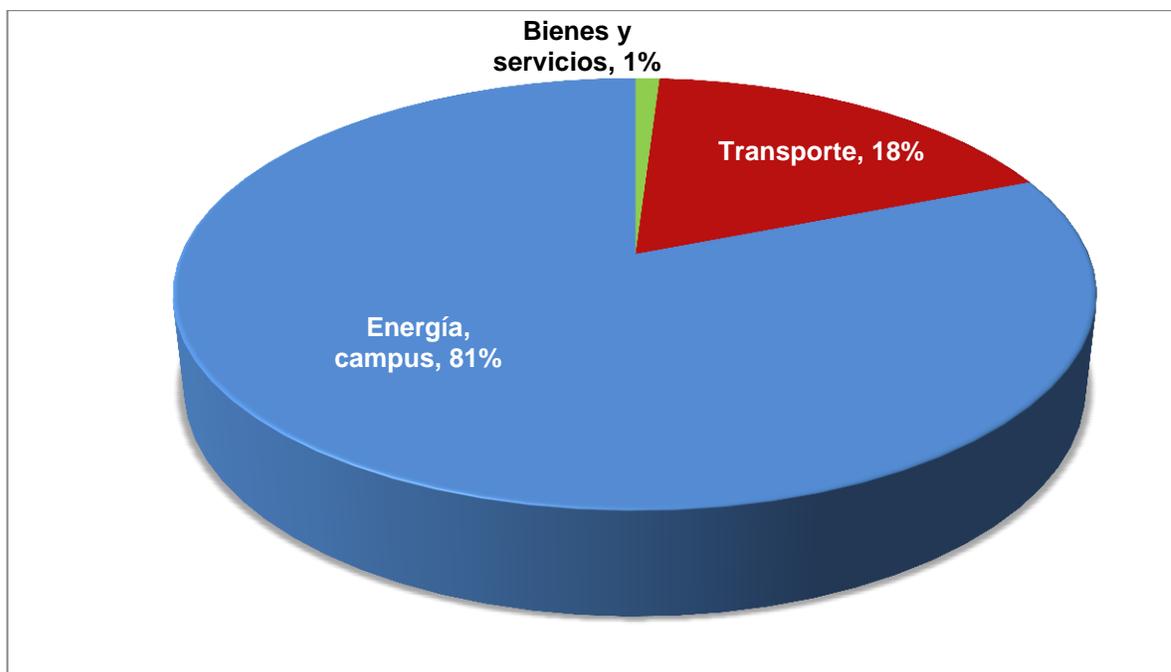


Figura 7: Distribución de emisiones de CO₂ en la Universidad de Cape Town^[17].

En la Universidad Autónoma de Chile (UAC)^[18] un equipo interdisciplinario de la Universidad junto con profesionales de Fundación Chile realizó mediciones de las emisiones asociadas al uso directo de combustibles, fugas de gases refrigerantes, emisiones debidas al uso de electricidad en las instalaciones e incluyendo al transporte dentro de los principales insumos, así como también a las emisiones relacionadas con los desplazamientos de alumnos, docentes y administrativos. Se presenta además una comparación entre diferentes universidades del mundo. En la Figura 2 se muestran los valores en toneladas

de CO₂ por estudiante debidas al consumo energético. Se observa como los valores andan desde 0.1 en la Universidad de Lesotho, hasta 33.1 del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Lo cual nos indica la gran variación que existe en el valor y a su vez el gran potencial de actividades por mejorar estos valores.

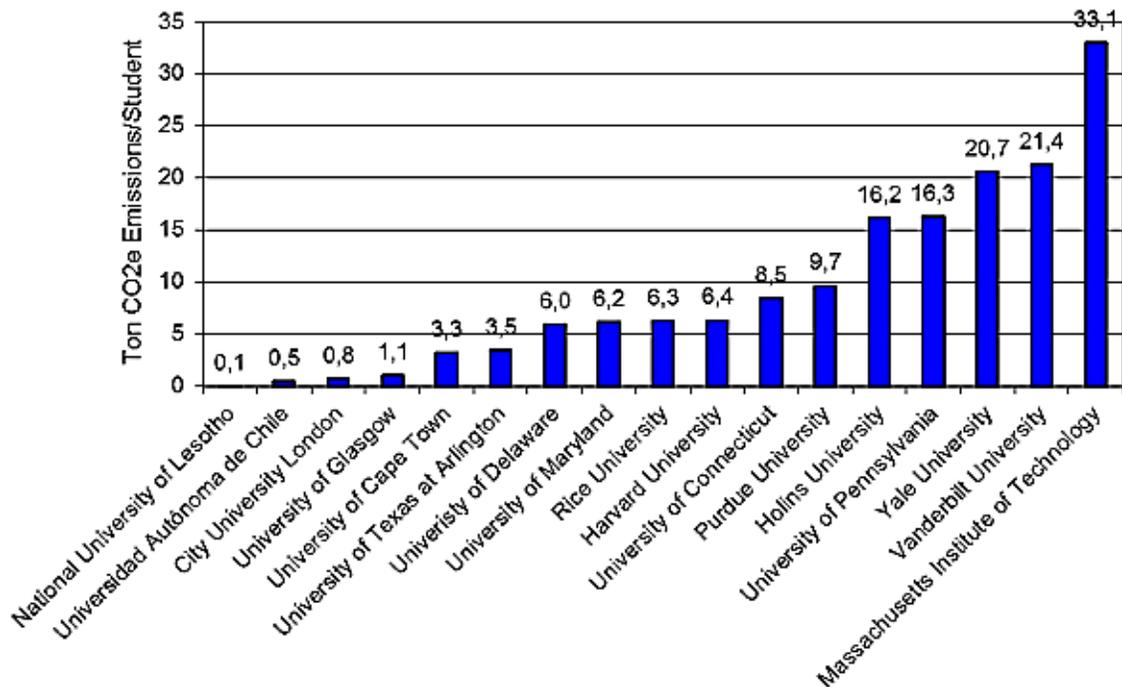


FIGURA 8. Huella de Carbono de algunas universidades en el mundo^[18].

Objetivos

General

Determinar la línea base de la Huella de Carbono por estudiante de la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora.

Específicos

- Estudio del estado de arte de metodologías para evaluación de la generación de CO₂.
- Revisar las técnicas para el cálculo de la huella de carbono y seleccionar la que mejor se adapte al objetivo general.
- Hacer una base de datos de los consumos eléctricos de la UNISON en los años recientes.
- Estudiar el comportamiento del consumo eléctrico de la UNISON.
- Calcular la Huella de Carbono conforme la técnica seleccionada.

Metodología

Basados en el estándar de la Agencia Internacional de Energía para la definición de HC se siguió el marco metodológico desarrollado por la Cape Town University (CTU)^[17] a partir del análisis Bottom-Up^[9]. Las principales actividades realizadas fueron:

- Se realizó un estudio de estado de arte de las metodologías de HC.
- Se seleccionó el procedimiento conocido como Bottom-Up por considerarse que se ajusta más a las condiciones de la Universidad de Sonora.
- Se asume que los estudiantes son los “productos” de la universidad y la energía eléctrica el principal insumo físico de la institución.
- Se calculó la producción de CO₂ por estudiante por año para la URC.

En el presente trabajo se realizó para la Unidad Regional Centro (URC) de la Universidad de Sonora (UNISON) en los años 2010, 2011, 2012 y 2013.

Herramientas Utilizadas

- Bancos de información pública en Internet para búsqueda de metodologías de estimación de la HC.
- Base de datos de la Dirección de Planeación para estimar la población estudiantil.
- Archivo de la Dirección de Infraestructura para determinar el consumo eléctrico de la Universidad de Sonora.
- Programa de Microsoft Office Excel 2007.

CAPITULO II

Marco Teórico

El objetivo del estudio de una línea base, es proporcionar una base de información contra la cual monitorear y evaluar el progreso y eficacia de una actividad durante la implementación de la misma y después de que se haya completado^[19], es decir, establece el punto de partida de un proyecto o intervención^[20], de esta forma estableceremos un punto de partida de las emisiones de CO2 de la Universidad de Sonora aplicando la huella de carbono.

Se encuentran antecedentes de marcos metodológicos utilizados para el cálculo de la HC desde los años 70 del siglo pasado ^[9, 21]. Desde los fines de los años 80 se encuentran en la literatura aplicaciones de la HC, aunque bajo nombres diferentes^[22]. Desde entonces el tema ha experimentado un desarrollo exponencial^[9].

El concepto de HC se originó como una variación de la huella ecológica. La aparición del concepto de huella ecológica fue mencionada por primera vez por Rees en 1992^[23] y desarrollado por Rees y Wackernagel en 1994^[24]. La huella ecológica representa la capital natural crítica de una economía o una población definida en términos de las áreas biológicamente productivas correspondientes. En otras palabras: la huella ecológica, relacionada a una población o a la producción de bienes económicos o servicios, es el área total de ecosistemas

terrestres y/o acuáticos necesarios para producir los recursos consumidos y absorber los desechos generados^[25].

Este indicador toma en cuenta 6 tipos de áreas bioproductivas: tierras de cultivo, pastizales, bosques, zonas de construcción, zonas de pesca, y la tierra relacionada a la energía; esta última representa el área de bosque necesaria para retener el CO₂ derivado de la quema de combustibles fósiles^[25].

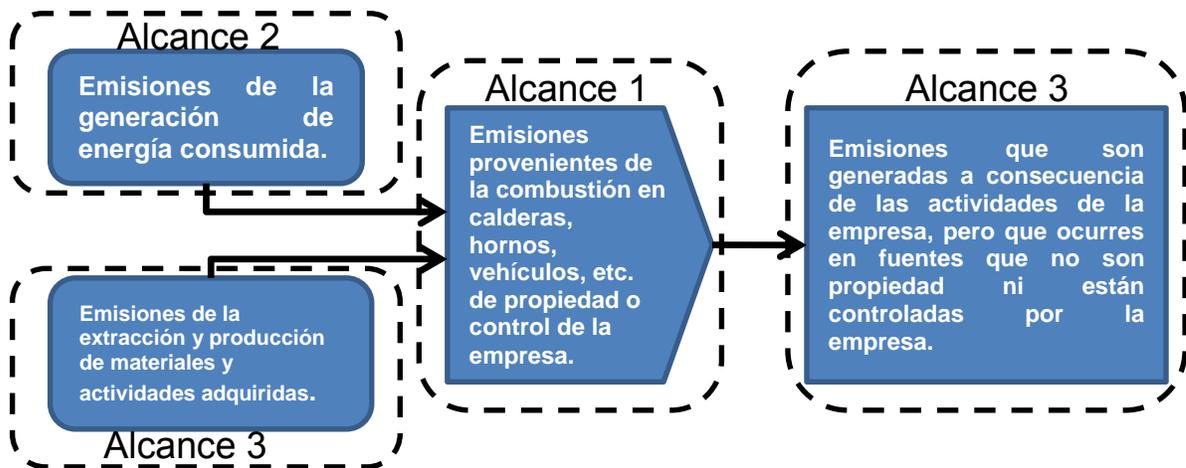
Al aparecer la HC no existe un concepto claro ni una metodología definida lo que ha posibilitado que surjan diferentes interpretaciones del indicador. Algunos estudios prefieren que el factor incluya varios gases de efecto invernadero, expresando así la huella en toneladas de CO₂ equivalentes^[26]. Otros prefieren limitarse únicamente a un solo gas, el CO₂^[27].

Todos estos asuntos provocan que las definiciones de HC difieran sustancialmente entre sí. Global Footprint Network la define como: *“la demanda de la biocapacidad precisa, para secuestrar bajo la fotosíntesis las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles”*^[28]. La definición de Carbon Trust es mucho más amplia: *“las toneladas totales de gases de efecto invernadero en toneladas equivalentes de un producto a lo largo de su ciclo de vida desde la producción de las materias primas empleadas en su producción, incluso la eliminación del producto acabado”*^[9, 29].

Las diversas interpretaciones del concepto de HC, han llevado al desarrollo de metodologías de cálculo muy diferentes, situación que genera una excesiva controversia frente a un índice que ya goza de bastante popularidad. Algunos autores sostienen que una “huella” por el significado del concepto, debe abarcar todos los efectos que deja tras de sí una actividad. En el caso de una HC, debe incluir todas las emisiones de gases de efecto invernadero que se relacionen directa e indirectamente con una actividad, y por lo tanto el análisis debe abarcar producto o servicio final.

Dentro de las metodologías desarrolladas hay 2 que han sido la base para el cálculo de la HC, el análisis Bottom-Up (de abajo hacia arriba) y el Top-Down (de arriba hacia abajo), que consideran las emisiones de dióxido de carbono desde puntos de vista más amplios^[9, 22].

El análisis Top-Down, más comúnmente usado para calcular la HC a nivel empresarial, parte de la visión más amplia del mercado, y va descendiendo en cadena hasta llegar a la parte más concreta de la empresa^[9].



Huella de Carbono Corporativa =
 (Alcance 1 + Alcance 2) + Alcance 3

FIGURA 9. Análisis Top-Down^[9].

Por otra parte el análisis Bottom-Up se enfoca al análisis del ciclo de vida de los productos basándose en los análisis de los procesos para formarlos, esto es, con la intención de entender los impactos ambientales de los productos de manera individual desde la materia prima hasta su estado final. La problemática de este enfoque es que se necesita definir un límite donde finalizar el análisis con el cual se presentara un error de truncamiento^[9].

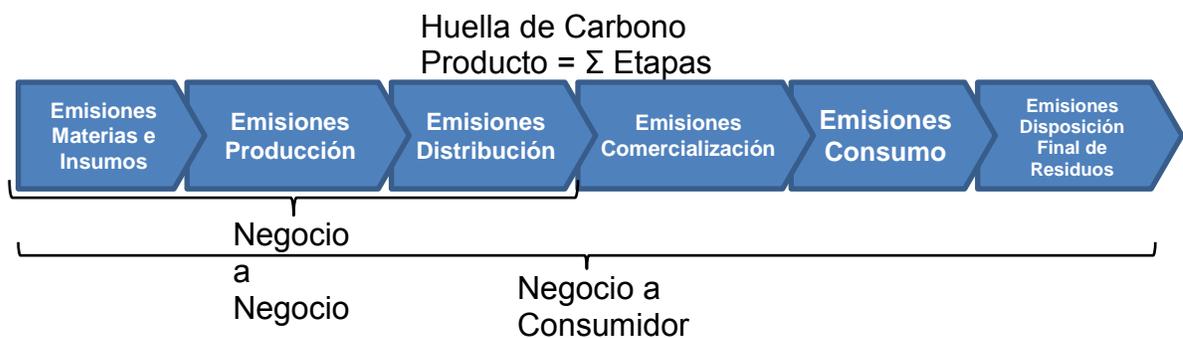


FIGURA 10. Análisis Bottom-Up^[9].

Matthews y colaboradores proponen una combinación de ambos enfoques para no perder los detalles ni la precisión de ambos enfoques. El enfoque Bottom-Up se utiliza en los procesos más importantes, mientras que en los procesos menos significativos se usa el enfoque Top-Down. A esta nueva técnica se le llamó “*enfoque del ciclo de vida híbrido*”^[9] y dependiendo de la aplicación, las etapas a aplicar entre otros factores, el método variará^[22].

La CTU desarrollo un marco metodológico para el cálculo de HC en una universidad utilizando el análisis Bottom-Up que se llevó a cabo como se muestra en la figura 11:



Figura 11. Análisis Bottom-Up de una Universidad.

De esta forma la metodología desarrollada por la CTU calcula la huella de carbono a través de 3 etapas diferentes^[17]:

- Primera Etapa: Emisiones concernientes a la energía.
- Segunda Etapa: Emisiones debidas al transporte.
- Tercera Etapa: Emisiones relativos a bienes y servicios.

Otros Métodos de Cálculo.

Actualmente existen 4 métodos principales presentados en la literatura para el cálculo de la HC en empresas, servicios, procesos y productos. Estos métodos utilizan un acercamiento muy similar para la obtención de datos como es el análisis de ciclo de vida del producto. Una vez que se esquematiza el ciclo de vida del producto, desde que se extraen las materias primas necesarias para su fabricación hasta el lugar de su disposición final, cada método usa un enfoque diferente. La primera diferencia tiene lugar en la limitación del alcance de la empresa, es decir hasta donde las emisiones de otros procesos influyen en el proceso de estudio. Una vez que se tiene el proceso bien delimitado, se extraen datos diferentes del proceso, para cada método de determinación. La Tabla II resume los cuatro métodos principales disponibles para cuantificar la HC.

TABLA II. Cuatro métodos actuales para la determinación de la HC^[7].

| Método | Enfoque | Perímetro | Referencia/ País | Escala | Unidad | Información | Actividades |
|---|------------------------|---|--------------------------------------|--------------|----------------------------|--|---|
| Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GEI Protocolo) | CORPORATIVO | Alcance 1: Emisiones Directas Provenientes del uso de combustibles bajo control de la empresa | Protocolo GEI (2001) (Multinacional) | Empresa: SI | Ton CO2 eq/año | Documentación o medición de consumos directos e indirectas de actividades operacionales u organizacionales | Todas las actividades de una organización |
| Alcance 2: Emisiones Indirectas por consumo de electricidad | | Territorio: NO | | | | | |
| Balance de Carbono (Bilan Carbone) | | Alcance 3: Emisiones Subsidiarias o indirectas fuera del control de la empresa | BC (2002) (Francia) | Producto: NO | Empresa: SI | | |
| Especificaciones Publicamente Disponibles (PAS 2050) | PRODUCTO | Emisiones generadas a lo largo del ciclo de vida del producto en base a dos opciones alternativas. B2B o B2C | Grupo BSI (2008) UK | Producto: SI | kg CO2 eq/Unidad funcional | Mapas de procesos e inventarios. El Análisis del Ciclo de Vida permite reaccionar aspectos operacionales y ambientales | Todas las actividades esencialmente productivas |
| Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) | CORPORATIVO - PRODUCTO | Emisiones generadas en una organización sin exceder sus límites, no se incluirán ni clientes, ni proveedores, consorcios o plantas de tratamiento de desechos | Doménech (2004) (España) | Empresa: SI | Ton CO2 eq/año | Básicamente cuentas contables de la organización permitiendo relacionar el aspecto económico al ambiental | Todas las actividades de una organización |
| | | | | Producto: SI | Ton CO2 eq/ton producto | | |
| | | | | | Hectáreas Globales (Gha) | | |

A continuación se describe más a fondo cada una de estas metodologías.

Protocolo de Gases de Efecto Invernadero

El protocolo de GEI es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (software) de cálculo de emisiones de GEI. Este protocolo ha logrado un alto nivel de reconocimiento a escala mundial y aparece como referente en términos de lineamientos generales, el protocolo GEI también ha desarrollado un software para el cálculo de HC inicialmente a empresas^[9, 28].

Tiene una metodología extensa y complicada pero eficaz para la obtención de las emisiones de los GEI directos e indirectos. Utiliza una visión intersectorial y contabiliza las emisiones, de cualquier sector, por ejemplo las debidas al uso de combustible en instalaciones productivas, a los viajes, a la combustión estacionaria y a las emisiones indirectas derivadas de la compra de electricidad. Incluso permite el tratamiento de todas las emisiones indirectas que se producen a partir de fuentes que no son propiedad de la empresa, como las actividades de extracción y producción de las materias primas y su transporte.

La utilidad de esta herramienta se resume en los siguientes puntos:

- Permite preparar inventarios de los GEI
- Simplifica y reduce costos de inventariar los GEI

- Ofrece información para planear estrategias de gestión y reducción
- Facilita la transparencia en el sistema de contabilización

Balance de Carbono

La herramienta fue elaborada específicamente para convertir datos relativos a las actividades productivas (como el consumo de energía, la cantidad de camiones y la distancia manejada, las toneladas de acero adquiridas, entre otras) en emisiones, de forma rápida, usando factores de emisión. El método considera la contabilización de emisiones directas e indirectas de los GEI, relacionadas con las actividades industriales, empresariales, y de otras asociaciones y entidades administrativas. Permite clasificar las emisiones según fuente, siendo la base de la herramienta, una base de datos que calcula las emisiones asociadas a cada actividad de un proceso^[9, 30, 31].

Especificaciones Públicamente Disponibles (PAS 2050)

Este método, PAS 2050, está desarrollado con el fin de facilitar a las empresas el cálculo de las emisiones de productos y servicios, y responde a las normativas ISO 14040 referido al Análisis del Ciclo de Vida; e ISO 14067 alusivo a la HC para productos (actualmente en preparación), así como a las recomendaciones del Protocolo de GEI. Así mismo, permite evaluar de manera normalizada la HC de cualquier tipo de producto o servicio, en particular:

- Los productos o servicios business-to-consumer (B2C), en los cuales el cliente es el consumidor final (empresa a consumidor).
- Los productos o servicios business-to-business (B2B), en los cuales el cliente es una empresa que utiliza el producto o servicio como entrada para incorporarlo a su producto final.

La metodología PAS 2050 define inicialmente fuentes de emisiones consideradas, además de bloques de actividades, cuyas emisiones deben ser consideradas en la estimación del ciclo de vida de bienes y servicios. Con la enumeración de las fuentes de emisiones consideradas, realiza una acotación general del ámbito al que se aplica el indicador. Los gases considerados en el cálculo de la HC y sus efectos potenciales son mostrados en la Tabla I^[9, 32].

Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3).

En este método la información fluye directamente de una organización a otra sin necesidad de contar con la colaboración de clientes o proveedores de la cadena de suministro para calcular la huella. Toda la huella de productos pasa de una entidad a otra, acumulándose progresivamente, y el estudio de huella se limita siempre a una entidad. De este modo, el alcance organizacional queda perfectamente delimitado en la destrucción del mismo al final de su vida útil, ya que esto queda fuera del alcance organizacional^[9, 33].

Comparado con otras metodologías, esta propuesta tiene algunas ventajas:

- Presenta un “enfoque a la organización”, lo cual permite el ecoetiquetado de la organización y de sus productos o servicios con la misma metodología.
- Permite expresar el indicador tanto en toneladas de CO₂, (HC) como en hectáreas de terreno bioproductivo (huella ecológica).
- Permite extraer los datos de entrada de las cuentas contables, lo cual permite a su vez, incorporar todas las fuentes posibles de emisión de carbono, permitiendo así la comparabilidad.
- Finalmente el ciclo de vida previo se incorpora con los productos o consumos de entrada, con lo cual no es necesaria la colaboración directa de clientes o proveedores; la información fluye automáticamente a lo largo de la cadena de suministro^[9].

Una vez revisadas las metodologías de cálculo de HC se seleccionó la metodología desarrollada por la CTU por ser la que más se adapta a las condiciones de la UNISON y proporciona mejor información.

CAPITULO III

Metodología

En el presente capítulo se describe el campo de estudio, las fuentes de información y el manejo de los datos necesarios para calcular la HC. Todos los datos se manejaron a través de una hoja de cálculo de Excel.

Unidad Regional Centro

La Universidad de Sonora es una institución de educación superior mexicana autónoma y de servicio público, fundada el 12 de octubre de 1942 en Hermosillo, Sonora, México.

La Universidad está integrada por unidades por 3 Unidades Académicas: Centro (Hermosillo y Cajeme), Norte (Caborca, Santa Ana y Nogales) y Sur (Navojoa). Además existen unidades destinadas exclusivamente a la investigación y extensión en Bahía de Kino, Cananea entre otras localidades.

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro (URC) en Hermosillo, Sonora. La URC como sede principal alberga la mayor parte de la oferta educativa y la mayoría de la población estudiantil. Esta sede cuenta con una extensión de 60 hectáreas que contienen aproximadamente 150 edificios.

Delimitaremos el estudio al consumo eléctrico obtenido de la suma total de las instalaciones en Hermosillo que incluyen las áreas, servicios y equipos que pone a disposición de los alumnos las cuales se muestra en la tabla III.

Tabla III: Equipos de consumo eléctrico.

| Área | Servicios | Equipos |
|-----------------------|--|--|
| Áreas Académicas | Aulas, Laboratorios, Bibliotecas, Centros de Computo | Equipos de Climatización, Iluminación, Computadoras |
| Áreas de Servicios | Servicios escolares, Servicios estudiantiles, Baños, Comedor | Equipos de Climatización, Iluminación, Computadoras, Equipos de Cocina |
| Áreas Administrativas | Cajas, Rectoría, | Equipos de Climatización, Iluminación, Computadoras |
| Áreas Recreativas | Parques, Plazas, Unidades Deportivas | Alumbrado Público, Bombas de Alberca, |

Las instalaciones de la URC se divide en 5 bloques: Campus Central, Departamento de Lenguas Extranjeras, Museo y Biblioteca, Unidades de Deportivas/Unidad de Posgrados, y Escuela de Agricultura y Ganadería (en el kilómetro 21 de la carretera a Bahía de Kino). En la Figura 12 se muestra las áreas pertenecientes a la URC que tiene como límites al norte los bulevares Luis Encinas-Navarrete, al este la calle Francisco Q Salazar, al sur el bulevar

Comisión Federal de Electricidad.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa del Gobierno Mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos^[34].

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 211 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 52,862 mega watts (MW), incluyendo productores independientes con 23 centrales (22 ciclo combinado y una eoloeléctrica) y 32 centrales de la extinta Luz y Fuerza^[34].

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoeeléctrica^[34].

Las plantas generadoras existentes en el estado de Sonora se muestran en la Tabla IV:

TABLA IV. Centrales Generadoras de Sonora^[33].

| | Nombre de la Central | Ubicación | Capacidad efectiva Instalada (MW) | Generación (GWh) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|--|-------------------------|
| Hidroeléctricas | Mocúzari | Álamos, Sonora | 9.60 | 31.80 |
| | Oviachic | Cajeme, Sonora | 19.20 | 63.60 |
| | El Novillo | Soyopa, Sonora | 135.00 | 447.00 |
| Termoeléctricas | Carlos Rodríguez Rivero | Guaymas, Sonora | 484.00 | 1,448.00 |
| | Puerto Libertad | Pitiquito, Sonora | 632.00 | 2382.60 |
| Diesel | Yécora | Yécora, Sonora | 1.80 | 0.03 |
| Turbogas | Caborca | Caborca, Sonora | 42.00 | 0.80 |
| | Cajeme | Cajeme, Sonora | 28.00 | 0.05 |
| Ciclo Combinado | Hermosillo | Hermosillo, Sonora | 253.00 | 1,566.60 |
| | Hermosillo | Hermosillo, Sonora | 227.00 | 2,025.00 |
| | Naco-Nogales | Agua Prieta, Sonora | 258.00 | 2,092.00 |
| Total | | | 2,089.60 | 10,056.93 |

La generación eléctrica en Sonora se lleva a cabo de la siguiente manera: 38% termoeléctrica (combustóleo), 56% ciclo combinado (gas natural), 5% hidroeléctrica, el resto es a través de plantas de turbo gas y combustión interna.

Dirección de Infraestructura y Obras

Realiza sus actividades en concordancia con las políticas, estrategias y prioridades establecidas en el Plan de Desarrollo Institucional. Con el objetivo de fortalecer la infraestructura educativa en la Universidad de Sonora emite normas y especificaciones técnicas y elabora guías operativas para la administración de los recursos destinados a la infraestructura educativa^[35].

Asimismo, la Dirección de Infraestructura realiza acciones de seguimiento técnico y administrativo a los programas de obra a cargo de las distintas Divisiones y Programas Académicos cuando incorporen recursos federales, participa en los programas de construcción de obra de los distintos departamentos y en los programas de inversión complementarios a las acciones de la Dirección de Planeación^[35]. Es en esta Dirección donde se encuentra el registro de consumo eléctrico que es leído de los recibos de CFE. Posteriormente se determinó la población estudiantil del campus, para lo cual se acudió a la dirección de planeación.

Dirección de Planeación.

Tiene el propósito de dirigir las actividades relacionadas con la planeación institucional en materia de programación y ejercicio presupuestal, así como de estudios, proyectos e información estadística, para contribuir al crecimiento y desarrollo de la Universidad de Sonora^[36].

Usando la información disponible de esta dirección se llevaron a cabo la determinación a la población estudiantil. Una vez obtenida la información de los consumos eléctricos, y hechas las consideraciones propicias sobre la población estudiantil, se procedió a calcular el Consumo Energético per Cápita (CEpc) para un estudiante universitario promedio.

Consumo Eléctrico per Cápita.

Como ejemplo de lo anterior se tienen los estudios que se presentaron en el Capítulo I, siendo uno de los primeros pasos para determinar la HC por alumno (HCpa) es conocer la cantidad de energía consumida por el mismo^[17], esto se obtuvo a través del siguiente cociente:

$$\text{Consumo Electrico per Capita} = \frac{\text{Electricidad Generada para la URC}}{\text{Población Estudiantil}} \quad (\text{ec. 1})$$

Una vez conseguido el consumo eléctrico per cápita (CEpc) se necesita conocer la relación que existe entre la energía consumida y las emisiones de CO₂ generadas por el consumo. Se realizó una revisión bibliográfica para encontrar esta relación.

Factor de Emisión.

Moomaw et al (2011) en un estudio para el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) realizaron estimaciones y valoraciones del ciclo de vida de las emisiones de GEI, de distintas tecnologías de generación de electricidad. Las estimaciones resultantes fueron convertidas a gr de CO_{2eq}/kWh; en esta conversión no fue tomada ninguna suposición externa^[37].

La Tabla V muestra los factores que se obtuvieron de diversos combustibles y tecnologías generadoras:

TABLA V. Emisiones de GEI por generación eléctrica de diversas tecnologías (g/kWh)^[36].

| Valores | Bio-energía | Solar | | Energía Geotérmica | Energía Hidroeléctrica | Energía Oceánica | Energía Eólica | Energía Nuclear | Gas Natural | Petróleo | Carbón |
|----------------|-------------|-------|-----|--------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------|----------|--------|
| | | PV | CES | | | | | | | | |
| Mínimo | -633 | 5 | 7 | 6 | 0 | 2 | 2 | 1 | 290 | 510 | 675 |
| 25vo percentil | 360 | 29 | 14 | 20 | 3 | 6 | 8 | 8 | 422 | 722 | 877 |
| 50vo percentil | 18 | 46 | 22 | 45 | 4 | 8 | 12 | 16 | 469 | 840 | 1001 |
| 75vo percentil | 37 | 80 | 32 | 57 | 7 | 9 | 20 | 45 | 548 | 907 | 1130 |
| Máximo | 75 | 217 | 89 | 79 | 43 | 23 | 81 | 220 | 930 | 1170 | 1689 |
| SAC min | -1368 | | | | | | | | 65 | | 98 |
| SAC Max | -594 | | | | | | | | 245 | | 396 |

SAC= Secuestro y almacenamiento de carbono. PV= Fotovoltaico (Photovoltaic). CES= Concentración de energía solar

Para el estudio de HC, el factor a utilizar será el del promedio aritmético de los valores máximos del gas natural (930 g/kWh) y petróleo (1170 g/kWh), debido a que estas son las tecnologías y combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica en el sector noroeste del país considerando que las actuales plantas de generación tienen más de 30 años en operación^[38]. El factor por generación a utilizar es entonces:

$$\frac{(930 + 1170) \text{ gr de } CO_2 / kWh}{2 * 1000 \text{ g/kg}} = \frac{1.05 \text{ kg de } CO_2}{kWh}$$

$$= \frac{1.05 \times 10^{-3} \text{ Ton de } CO_2}{kWh} \quad (\text{ec. 2})$$

Este valor relaciona las emisiones de CO₂ producidas por el combustible necesario para generar 1 kWh.

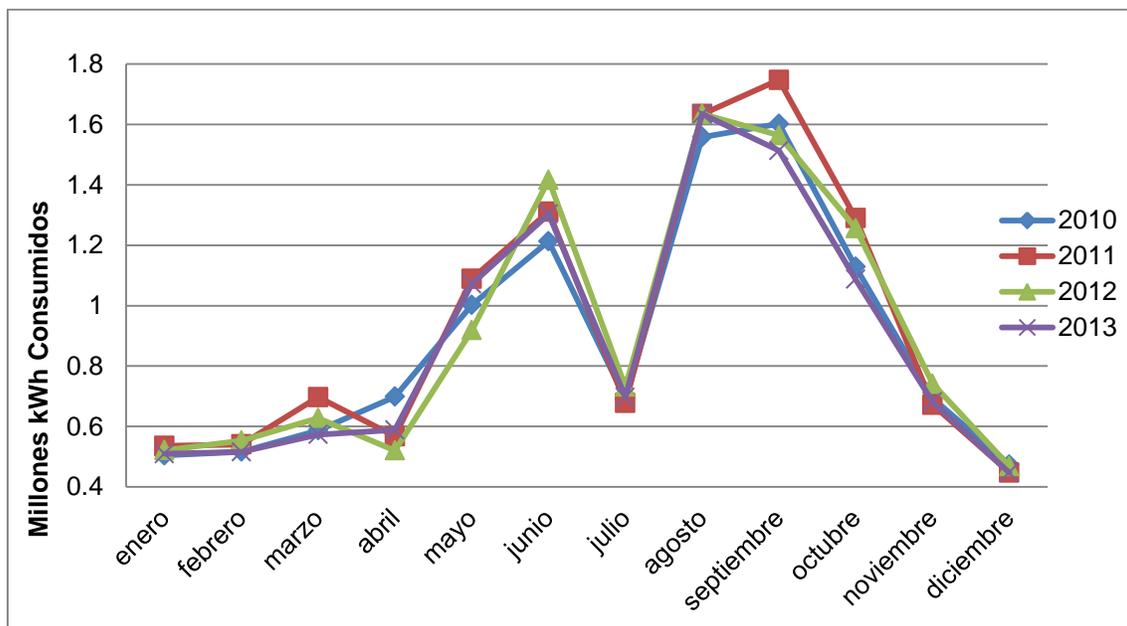
CAPITULO IV

Resultados

A continuación se presentan los resultados y análisis de los consumos eléctricos obtenidos, también el comportamiento de la población estudiantil, el cálculo de CEpc y el cálculo de línea base de HC.

Consumos Eléctricos de la URC-UNISON.

Como se definió anteriormente, el presente estudio está orientado a los datos de la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora (URC), y para esta unidad los consumos eléctricos mensuales de los años 2010 a 2013 son mostrados en la Gráfica 1^[35]. Los datos registrados de la electricidad fueron sometidos a un proceso de organización y se generó una base de datos que sea de más utilidad y permita facilitar el cálculo de HC.

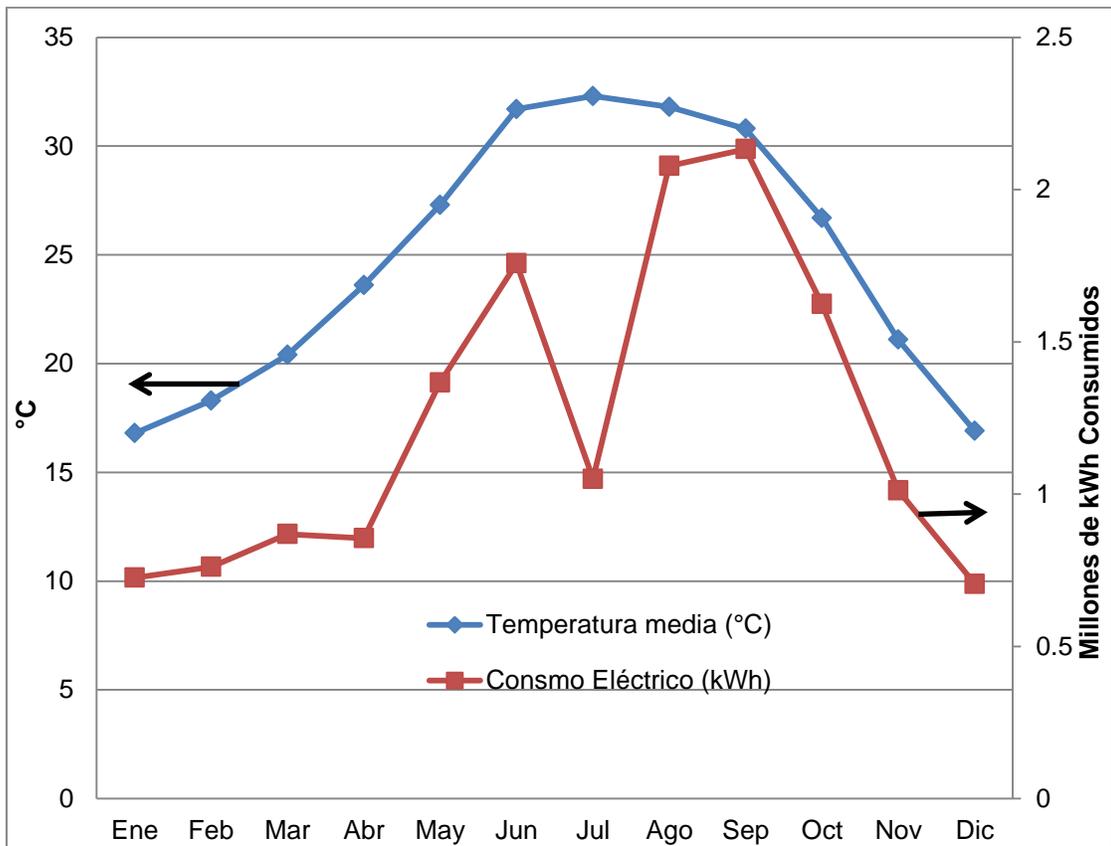


GRÁFICA 1. Consumo Eléctrico mensual de la URC-Universidad de Sonora.

La URC es de los más grandes clientes de CFE de la ciudad de Hermosillo, sus consumos rondan entre 0.5 a casi 2 millones de kWh dependiendo del mes. Este comportamiento mensual tan variante, de entre 3 a 4 veces desde el valor mínimo al máximo, tiene factores diversos que explican esta amplia fluctuación, entre los que destacan: el clima, los periodos académicos de ingreso, así como los periodos vacacionales.

El clima en Hermosillo se caracteriza por un verano seco con altas temperaturas y fuerte radiación solar, con una temporada de lluvias en Julio y Agosto donde la humedad aumenta considerablemente y finalmente el resto del año las temperaturas son moderadas.

En la Tabla VI se presentan un concentrado de las normales climatológicas para la ciudad de Hermosillo^[39], donde se muestran las temperaturas promedios mensuales, temperaturas máximas promedios mensuales, la humedad promedio mensual, así como la radiación solar. Graficando estos parámetros se observa en la Gráfica 2 que en los meses de Agosto y Septiembre, la combinación de altas temperaturas y la presencia de humedad en el ambiente conforman una situación de no confort térmico para el ser humano, lo cual obliga al uso intensivo de refrigeración y aire acondicionado en los edificios y viviendas de la región. Los recintos universitarios como aulas, auditorios, laboratorios y oficinas requieren de equipos de aire acondicionado prácticamente todo el día, ya que en esa época los parámetros climáticos siempre están fuera de la zona de confort^[40]. El periodo de uso del aire acondicionado se extiende seis meses desde mayo hasta octubre, medio año, usando refrigeración por lo cual los consumos eléctricos aumentan considerablemente en esos meses.



GRÁFICA 2. Consumo eléctrico de la URC y normales climatológicas de Hermosillo^[39].

Tabla VI: Normales Climatológicas de Hermosillo

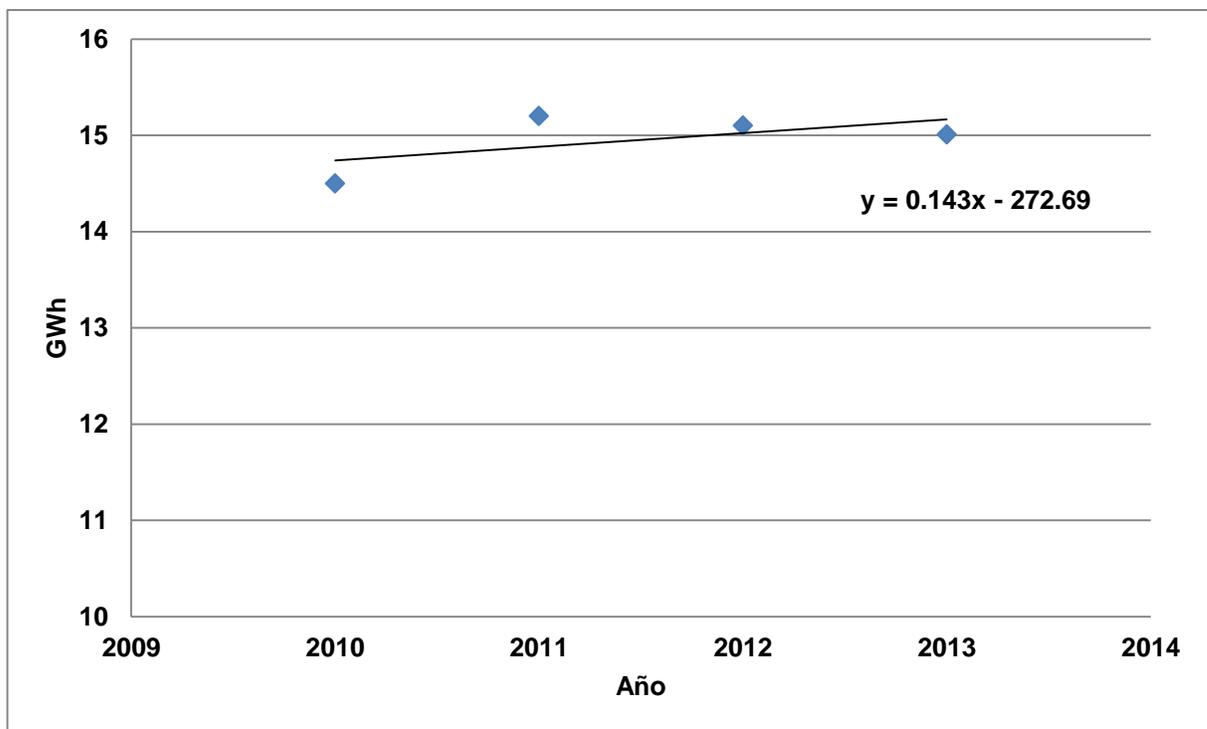
| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura máxima media (°C) | 23.8 | 25.6 | 28.1 | 31.7 | 35.6 | 39.6 | 39 | 38.1 | 37.3 | 33.7 | 28.4 | 23.9 |
| Temperatura media (°C) | 16.8 | 18.3 | 20.4 | 23.6 | 27.3 | 31.7 | 32.3 | 31.8 | 30.8 | 26.7 | 21.1 | 16.9 |
| Humedad Relativa (%) | 48 | 44 | 40 | 34 | 31 | 34 | 48 | 53 | 48 | 42 | 43 | 49 |
| Radiación Solar (kWh/m ²) ^[41] | 3.92 | 4.80 | 6.23 | 7.45 | 7.86 | 7.56 | 7.14 | 6.31 | 5.92 | 5.17 | 3.95 | 3.37 |

El otro factor que influye es el Calendario Escolar donde se presentan dos elementos operativos, el primero es que el número de estudiantes se incrementa fuertemente al inicio del año escolar debido a los estudiantes de nuevo ingreso, esto es en Agosto y el segundo los periodos vacacionales de julio y a finales de diciembre. El primero aumenta la demanda de consumo eléctrico, eso podría explicar los máximos de Agosto y Septiembre, mientras que el segundo opera en disminución que claramente vemos durante todo Julio y en la mitad de Diciembre, siendo este último mes el que menor consumo presenta.

Una vez analizado el comportamiento mensual del consumo eléctrico se estudió la demanda anual de la URC-UNISON, la Tabla VII muestra los GWh consumidos para el periodo del 2010 al 2013, estos valores se muestran en la gráfica 3 donde se observa un crecimiento del consumo con los años. Realizando un ajuste de mínimos cuadrados para un línea recta se obtiene una estimación del crecimiento promedio anual del 3.7 % para ese lapso de tiempo.

TABLA VII. Consumo eléctrico anual de la URC.

| Año | kWh Consumidos Anualmente en la URC. |
|------------|---|
| 2010 | 14,478,820 |
| 2011 | 15,205,180 |
| 2012 | 15,085,032 |
| 2013 | 15,007,776 |



GRÁFICA 3. GWh consumidos anualmente en el campus.

De seguir con la tendencia actual de crecimiento de la demanda eléctrica, se tiene que para el 2020 el consumo será un valor aproximado de 16.3 GWh; y de 17 GWh para el 2026. Esta tasa de crecimiento acelerado requiere de una

planeación en el rubro energético para tener un desarrollo equilibrado entre los consumos y los costos.

Los consumos presentados en la Tabla VII representan la electricidad consumida por la URC mas no la energía generada, para esto se agregó la pérdida de energía eléctrica debido a la distribución y transmisión. Para el caso particular de México se encontró en la literatura que la pérdida de carga es del 17%^[42], los valores de la energía genera se presentan en la Tabla VIII:

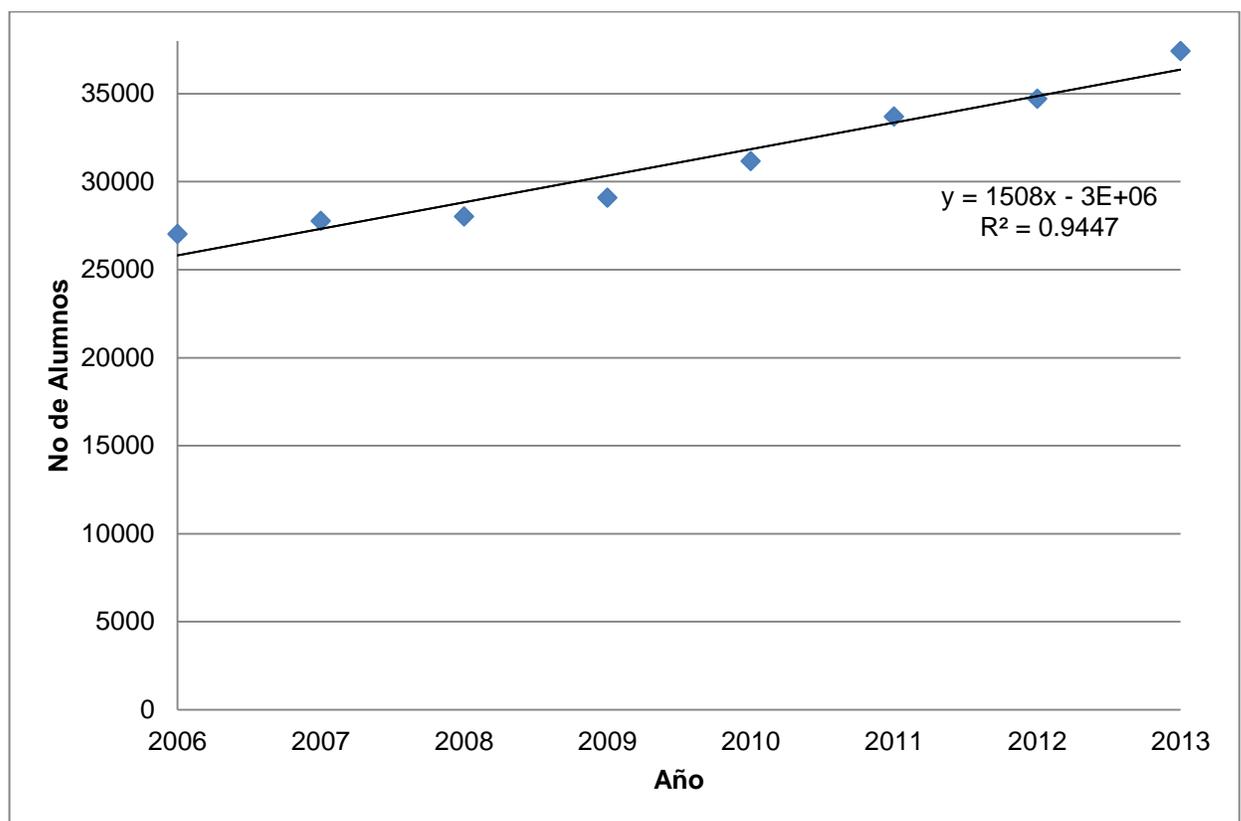
Tabla VIII. Generación Eléctrica Anual para la URC.

| Año | kWh Generados para la URC |
|------------|----------------------------------|
| 2010 | 17,236,690 |
| 2011 | 18,101,404 |
| 2012 | 17,958,371 |
| 2013 | 17,866,400 |

Para el cálculo de la HC es necesario estimar el número de estudiantes que se usaran como referencia, es decir, dado que la población estudiantil de la universidad es dinámica y no se considera constante, se realizó un estudio para establecer el valor más representativo de la población estudiantil.

Población Estudiantil.

Basados en la información publicada en el portal de la Dirección de Planeación^[36] de la Universidad, la Población Estudiantil de la Universidad ha seguido un crecimiento sostenido en los últimos 7 años como se muestra en la gráfica 4:



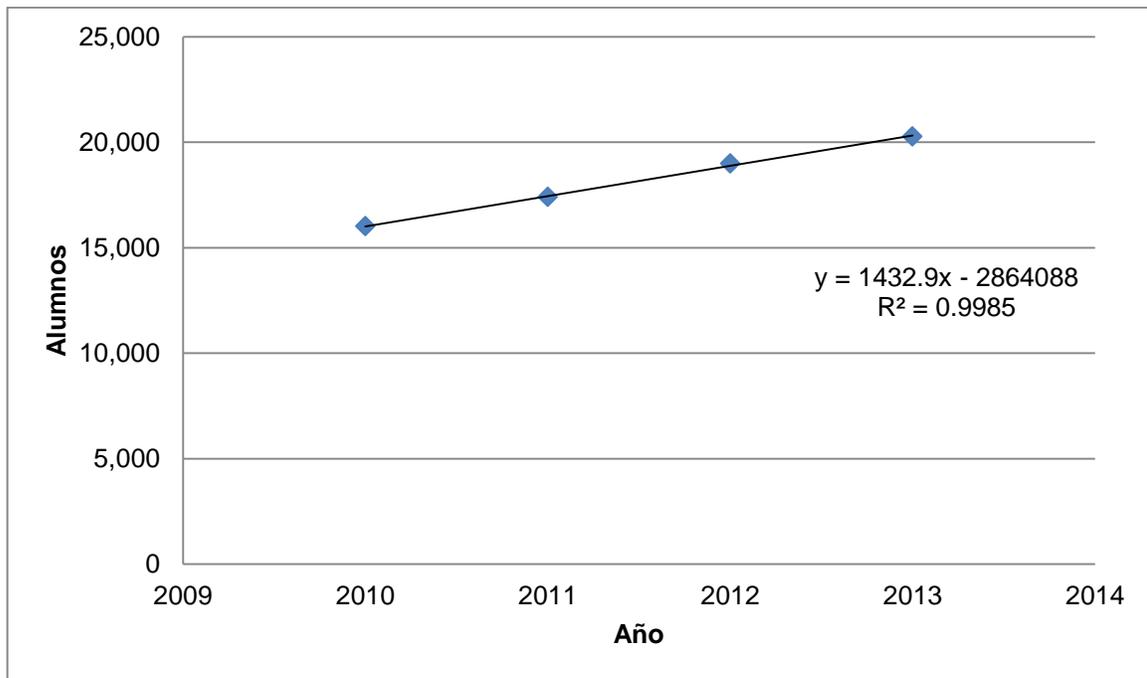
GRÁFICA 4. Población Histórica de la URC^[2].

Utilizando una regresión lineal se obtuvo una tasa de crecimiento promedio anual del 4.8%. Haciendo una proyección con esta tasa para años futuros, se presenta que para el año 2020 la Población Estudiantil será de 46,160 alumnos, y la Población alcanzara los 50 mil alumnos en el año 2023.

Debido a que el estudio está enfocado a la URC, se obtuvo el total de la población estudiantil de esta unidad, que de igual forma aparece publicada en el sitio de la Dirección de Planeación. La información aparece reportada por semestre y presenta una gran variación entre el primer semestre y el segundo. Esta variación es debida a las inscripciones de nuevo ingreso y las deserciones que principalmente se dan en el primer semestre. Para este estudio se decidió tomar el valor de la población que aparecen inscritos en segundo semestre escolar o, el primer semestre del año civil, esto con el fin de evitar el “ruido” provocado por las inscripciones de nuevo ingreso. Aclarado la forma de selección se muestra la evolución de la población estudiantil del 2010 al 2013 en la Tabla IX y Gráfica 5.

TABLA IX. Población estudiantil de los estudiantes de licenciatura en la URC.

| Año | Población de Estudiantes de licenciatura en la URC |
|------------|---|
| 2010 | 16,017 |
| 2011 | 17,395 |
| 2012 | 18,988 |
| 2013 | 20,272 |



GRÁFICA 5. Número de Alumnos Matriculados en una Licenciatura de la URC^[2].

Se realizó un ajuste de recta para los datos de alumnos matriculados en una Licenciatura en el Campus Central de la UNISON se obtuvo una tasa de crecimiento de anual promedio que varía de 8% a 9%, y lo cual representa una población de 30370 alumnos para el año 2020, esto es, 10 mil alumnos más de los contaba la institución universitaria en 2013.

Consumo Eléctrico per Cápita.

Usando la información antes proporcionada se calcula, usando la ecuación 1 (ec. 1), el consumo eléctrico per cápita (CEpc) para cada uno de los años estudiados:

$$\text{Consumo Eléctrico Per Capita 2010} = \frac{17,236,690 \text{ kWh}}{16,017 \text{ Alumnos}}$$

$$= 1076.15 \text{ kWh/Alumno}$$

$$\text{Consumo Eléctrico Per Capita 2011} = \frac{18,101,404 \text{ kWh}}{17,395 \text{ Alumnos}}$$

$$= 1040.61 \text{ kWh/Alumno}$$

$$\text{Consumo Eléctrico Per Capita 2012} = \frac{17,958,371 \text{ kWh}}{18,988 \text{ Alumnos}} = 945.77 \text{ kWh/Alumno}$$

$$\text{Consumo Eléctrico Per Capita 2013} = \frac{17,866,400 \text{ kWh}}{20,272 \text{ Alumnos}} = 881.33 \text{ kWh/Alumno}$$

Esta información se muestra de manera sintetizada en la tabla X:

Tabla X. Consumo Eléctrico Per Cápita de los estudiantes de la URC

| Año | Consumo Eléctrico Per Cápita (kWh) |
|------------|---|
| 2010 | 1076.15 |
| 2011 | 1040.61 |
| 2012 | 945.77 |
| 2013 | 881.33 |

Cálculo de Huella de Carbono.

Una vez obtenidos los CEpc, aplicaremos el factor de conversión obtenido a través de la información publicada por el IPCC y la IEA con el cual conoceremos los valores en los que será representada la HC. El factor es el obtenido en la (ec 2):

$$\frac{1.05 \times 10^{-3} \text{ Ton Métricas de CO}_2}{kWh}$$

(ec. 2)

Este factor nos permitirá calcular la HC de los estudiantes universitarios de la URC, de los años 2010 a 2013:

TABLA XI. Huella de Carbono de los estudiantes de la Universidad de Sonora.

| Año | Huella de Carbono (Ton. Métricas de CO₂/Alumno) |
|------------|---|
| 2010 | 1.13 |
| 2011 | 1.09 |
| 2012 | 0.99 |
| 2013 | 0.93 |

Se observa que el valor es de 1.04 Ton. Métrica de CO₂ producido por alumno. Cabe aclarar que se observa un leve decremento con los años es difícil sacar conclusiones debido a las consideraciones hechas. Se requeriría mayor historial para establecer una tendencia o el registro más detallado de acciones tendientes a afectar estos valores. Por lo cual se considera ya un valor consistente y representativo para estos años el valor de 1.04 toneladas de CO₂ por estudiante.

Es importante agregar que la consideración de usar solo los consumos eléctricos de la URC es un buen primer acercamiento al valor “real” de la HC ya que como se mencionaba en el Capítulo 1, en la CTU el consumo de electricidad representa el 81% de las emisiones y tiene la siguiente distribución:

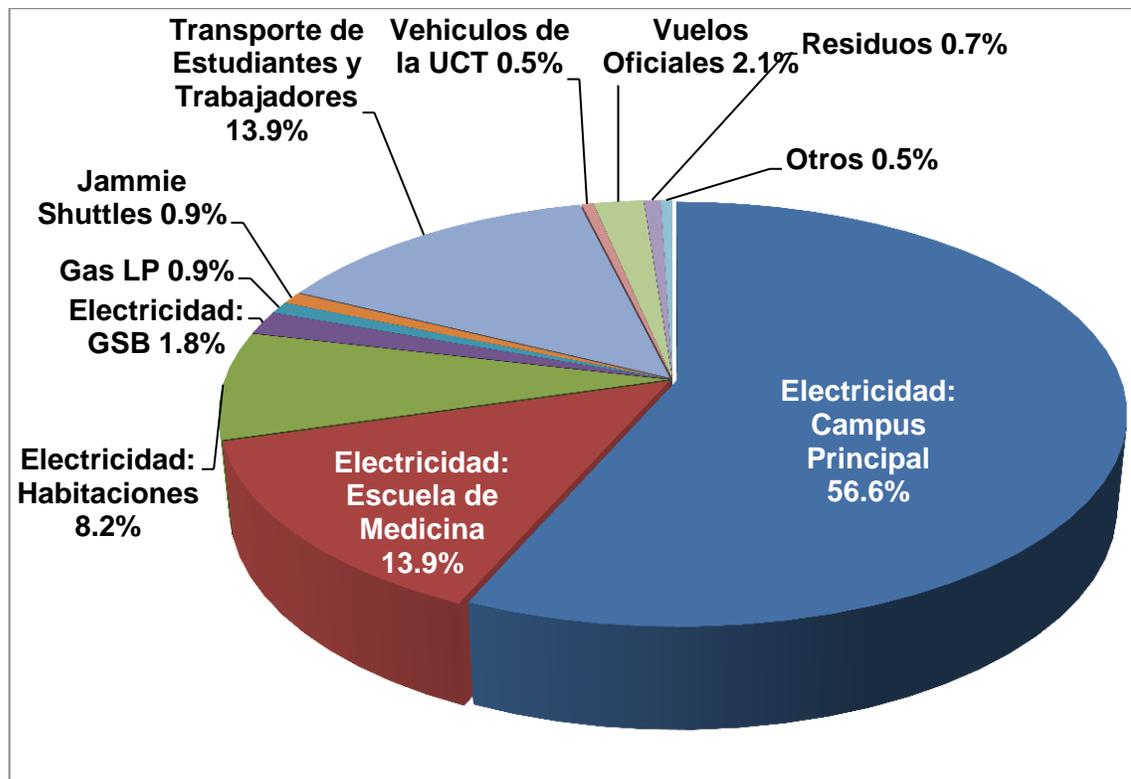


FIGURA 13. Distribución de emisiones de CO₂ de la Universidad de Cape Town^[17].

De tal forma que la mayor parte de las emisiones corresponden a al uso de electricidad en las diversas áreas del campus de Cape Town University, la cual es del orden, en tamaño, a la URC y esto nos permite tener confianza en que el valor “real” de la línea base de HC no diferirá mucho del encontrado en el presente trabajo.

CAPITULO V

Conclusiones.

La Huella de Carbón (HC) en referencia a la producción de CO₂ emitidos a la atmósfera debido a la actividad humana, es una herramienta que se está estableciendo en todo el mundo, y se encuentra en vías de consolidarse como estándar internacional, ya que facilita el análisis tomándola como una referencia para estudiar medidas o acciones que permitan disminuir la generación de CO₂. La disminución de CO₂ tiene con el objetivo de no afectar el efecto invernadero natural de nuestro planeta. Algunas agencias a nivel mundial lo promueven y lo sistematizan, como la ONU, el IPCC, la ISO y la IEA.

Las universidades e instituciones de investigación a nivel mundial comprometidos con las políticas de sustentabilidad se han estudiado a sí mismas para establecer sus líneas bases con las cuales comparar los impactos de medidas mitigatorias de la producción de CO₂. Reportes de investigaciones de distintas universidades a nivel mundial así lo demuestran, en este trabajo se presentaron y comentaron algunos de los más destacados. El rango de valores van desde 0.1 hasta 33.1 toneladas de CO₂ por alumno.

Basados en estudios anteriores se seleccionó y aplicó la primera etapa de la metodología para la estimación de la línea base de Huella de Carbono para la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora. Haciendo la

consideración que el mayor consumo de energía en la universidad es la utilización de energía eléctrica se utilizó la generación anual en kWh para relacionarlo con la población estudiantil para los años estudiados, encontrándose el valor promedio de 1.04 toneladas de CO₂ por alumno.

Se realizó una base de datos que proporcionara información de los consumos eléctricos, la población estudiantil y la huella de carbono con la finalidad de que pueda utilizarse en años futuros y, mejorarse conforme a las necesidades de la Universidad de Sonora.

Los datos necesarios del consumo eléctrico y población de alumnos se obtuvieron de las bases de datos de la Universidad de Sonora. Fue posible conocer el comportamiento de los consumos eléctricos los cuales presentan una variación mensual, y muestran una tendencia a crecer anualmente al igual que el número de alumnos.

Recomendaciones.

Con el fin de mejorar la estimación de la Huella de Carbono, se sugiere que para estudios posteriores se incluyan los consumos de combustibles por transporte a la universidad y desde la universidad, del mismo modo se podría incluir los consumos de gas LP que se utiliza en algunos laboratorios.

Es necesario mejorar la base de datos de los consumos eléctricos de la Universidad de Sonora, debido a que la información no se encuentra organizada bajo ningún concepto en específico.

Finalmente se sugiere que la Universidad realice y publique anualmente la estimación de la huella de carbón como una medida de creación de conciencia entre la comunidad universitaria.

Bibliografía.

- [1] Universidad de Sonora. Plan de Desarrollo Sustentable de la Universidad de Sonora [en línea]. Hermosillo, Sonora; 2012 [fecha de consulta: 05 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.sustentabilidad.uson.mx/docs/PlandeDesarrolloSustentableUniversid addeSonoraSep20123.pdf>
- [2] Universidad de Sonora. Población Estudiantil, serie histórica. [En línea] Hermosillo, Sonora; 2012 [fecha de consulta: 09 de abril del 2014]. Disponible en: <http://www.planeacion.uson.mx/sie/alumnos/poblacion.htm>
- [3] National Oceanic and Atmospheric Administration. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide [en línea]. Mauna Loa, Hawaii. 2013 [fecha de consulta: 05 de febrero del 2014] Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- [4] International Energy Agency. Key World Energy Statistics 2013. [en línea]. 2013 [fecha de consulta: 05 de febrero del 2014] Disponible en: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>
- [5] International Energy Agency. Mexico Total Primary Energy Supply.[en línea] 2013. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.iea.org/stats/WebGraphs/MEXICO5.pdf>
- [6] GRANADOS J A, TAPIA I, L E, et al. Climate change and the world economy: short-run determinants of atmospheric CO₂. *Environmental Science & Policy*. 2012.
- [7] BORENSTEIN S. Greenhouse gas milestone; CO₂ levels set record [M]. *National Oceanic and Atmospheric Administration*. 2013.
- [8] TAYLOR P, LAVAGNE D'ORTIGUE O. Energy Efficiency Indicators [M]. International Energy Agency. 2008.
- [9] ESPÍNDOLA C, VALDERRAMA J O. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. (Spanish). Carbon Footprint Part 1: Concepts, Estimation Methods and Methodological Complexities (English), 2012, 23(1): 163-76.
- [10] SOLOMON S, D, QIN M, MANNING Z, et al. What is the Greenhouse Effect? [en línea]. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. [fecha de consulta: 25 de enero del 2014]. Disponible en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html
- [11] ERICKSON J. El Efecto Invernadero. El desastre de Mañana, Hoy. Madrid; McGraw-Hill. 2009. [fecha de consulta: 25 de enero del 2014].
- [12] The Green House Effect. [en línea]: 2009. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014] Disponible en: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/The_green_house_effect.s vg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/The_green_house_effect.svg)
- [13] PACHAURI R K, REISINGER A. Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. [en línea]. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2008. [fecha de consulta: 25 de enero del 2014]. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

- [14] United Nations. United Nations Framework Convention of Climate Change. Protocolo de Kyoto. [en línea]. 1998. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [15] International Organization for Standardization. ISO 14064-1:2006. Greenhouse gases - Part 1: especification with guidance at the organization level for quantification and reporting greenhouse gas emissions and removals. [En línea]. 2006. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:en>
- [16] International Organization for Standardization. ISO 50001:2011. Energy management systems - Requirements with guidance for use [En línea]. 2011. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:en>
- [17] LETETE T, MUNGWE N, GUMA M, et al. University of Cape Town Carbon Footprint [en línea]. Cape Town, Sudafrica: University of Cape Town, 2010 [fecha de consulta: 17 de abril del 2014]. Disponible en: http://www.erc.uct.ac.za/Research/publications/10Thapeleetal-UCT_footprint.pdf
- [18] Universidad Autónoma de Chile. Universidad Autónoma de Chile es segunda universidad del mundo que emite menos carbono. [En línea] Chile. (s. f.) [fecha de consulta: 08 de marzo del 2014] Disponible en: <http://www.uautonoma.cl/index.php/2011/05/huella-de-carbono/>
- [19] ONU Mujeres. Estudio de Lineas de base [En línea] (s. f.) Disponible en: <http://www.endvawnow.org/es/articles/959-estudios-dethea-di-base.html?next=960>.
- [20] VÁSQUEZ A, FIGUEROA Y PARODI. Línea de base [En línea]. 2001. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_base_\(investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADfica\)#cite_note-V.C3.A1squez.2C_Arambur.C3.BA.2C_Figueroa_y_Parodi-1](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_base_(investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADfica)#cite_note-V.C3.A1squez.2C_Arambur.C3.BA.2C_Figueroa_y_Parodi-1)
- [21] DALY H E. On Economics as a Life Science Journal of Political Economy [en línea]. 1968: 392-406. [fecha de consulta: 29 de enero del 2014]. Disponible en: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/1829303?uid=3738664&uid=2&uid=4&sid=21104091556271>
- [22] MINX J C, WIEDMAN T. Economic Systems Research. 2010 [fecha de consulta: 25 de enero del 2014].
- [23] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization. 1992. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014].
- [24] REES W E, WACKERNAGEL M. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. Investing in Natural Capital. 1994. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014].
- [25] BAGLIANI M, MARTINI F. A joint implementation of ecological footprint methodology and cost accounting techniques for measuring environmental pressures at the company level. Ecological Indicators, 2012, 16(0): 148-56. [fecha de consulta: 18 de enero del 2014].

- [26] DÓMENECH J L. Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible.[en línea] 2004. [fecha de consulta: 06 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.eumed.net/eve/resum/06-07/jldq.htm>
- [27] WIEDMANN T, MINX J. A Definition of Carbon Footprint. 2008. [fecha de consulta: 10 de febrero del 2014].
- [28] Global Footprint Network. Ecological footprint and biocapacity. Technical notes. 2006
- [29] The Carbon Trust. Carbon footprint measuring methodology. [en línea]. 2007.[fecha de consulta: 10 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.carbontrust.com/client-services/footprinting/footprint-measurement>
- [30] Bilan Carbone Entreprises et Collectivités. Guide méthodologique, version 6.1, objectifs et principes de comptabilisation l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. [en línea]. 2010.[fecha de consulta: 08 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/lyon-caen/Guide-Methodologique-V6-1.pdf>
- [31] JANCOVICI J M. Un outil pour connaître les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou administration : le "bilan carbone" de l'ADEME. [en línea]. 2011. [fecha de consulta: 10 de febrero del 2014]. Disponible en: http://www.manicore.com/missions/bilan_carbone.html
- [32] Bristish Standards Institute. PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse emissions of goods and services. [en línea] 2008. [fecha de consulta: 15 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050>
- [33] DÓMENECH J L, CARBALLO A, JIMÉNEZ L, et al. Estándares 2010 de Huella de Carbono MC3. [en línea]. Conama10 Congreso Nacional de Medio Ambiente. 2010 [fecha de consulta: 15 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.conama10.es/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=90&id=54&op=view>
- [34] Comisión Federal de Electricidad (s. f.). Que es CFE. [en línea]. Consultado en: http://www.cfe.gob.mx/CONOCECFE/1_ACERCADECFE/Paginas/Que-es-CFE.aspx
- [35] Universidad de Sonora. Dirección de Infraestructura. [en línea]. (s. f.). [fecha de consulta: 02 de mayo del 2014]. Disponible en: http://www.infraestructura.uson.mx/?page_id=9
- [36] Universidad de Sonora. Dirección de Planeación. [En Línea]. (s. f.). [fecha de consulta: 04 de mayo del 2014]. Disponible en: <http://www.planeacion.uson.mx/proposito.htm>
- [37] MOOMAW W, BURGHER P, HEATH G, et al. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Annex II. [en línea]. 2011. [fecha de consulta: 22 de marzo del 2014] Disponible en: http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Annex_II.pdf

- [38] Comisión Federal de Electricidad (s. f.). CFE y la electricidad en México [en línea].
- [39] Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas de Hermosillo [En línea] 2010. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL26139.TXT>
- [40] ALASDAIR W. From Comfort Zone to Performance Management. [en línea]. 2008. [fecha de consulta: 08 de abril del 2014]. Disponible en: <http://www.byggai.se/mats/att/Comfort-to-Performance.pdf>
- [41] Rafael E. Cabanillas L., Jesús B. Pérez V. y Christopher Watts T. Evaluación del Recuso Solar en el Estado de Sonora. ANES 2005, Congreso Nacional de Energía Solar, Octubre 2005. México.
- [42] MCKENRRACHER C. Global Smart Grid Drivers. [en línea]. 2012.[fecha de consulta: 25 de marzo del 2014]. Disponible en: https://www.iea.org/media/workshops/2012/h2g/bnef_mckerracher_drivingthesmartgrid_2012_09_12publicversion.pdf