



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS
COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA USAC**

Julio René Elel Asturias

Asesorado por la Inga. Rosa Amarilis Dubón Mazariegos

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS
SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO RENÉ ELEL ASTURIAS

ASESORADO POR LA INGA. ROSA AMARILIS DUBÓN MAZARIEGOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Óscar Estuardo de León Maldonado
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godinez Bautista
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 29 de mayo de 2015.



Julio René Elel Asturias

Guatemala, Abril del 2018

Ingeniero
Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería

Respetable Ingeniero:

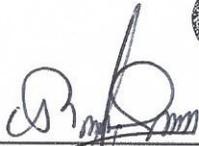
Por medio de la presente le informo que he procedido a la revisión del trabajo de graduación elaborado por el estudiante: Julio René Elel Asturias con carné: 200924420 y CUI 1633 98062 0101 de la carrera de Ingeniería Industrial, cuyo título es:

**DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS
SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA USAC.**

Considero que el trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado de manera satisfactoria cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.





Rosa Amarilis Dubón Mazariegos
Ingeniera Industrial
No. Colegiado 8396
Asesora



REF.REV.EMI.125.018

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA USAC**, presentado por el estudiante universitario **Julio René Elal Asturias**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Josué Giovanni Jocolt Quiñonez
Ingeniero Industrial - Ingeniero Mecánico
COLEGIADO 6512

Ing. Josué Giovanni Jocolt Quiñonez
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2018.

/mgp



REF.DIR.EMI.012.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA USAC**, presentado por el estudiante universitario **Julio René Elel Asturias**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

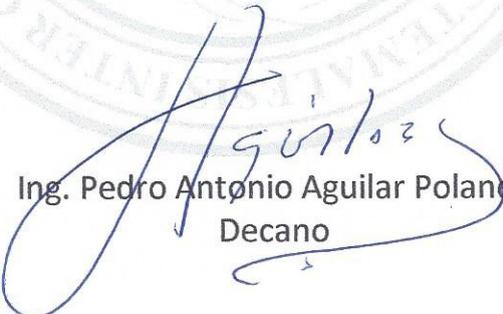


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 048.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DEL AGUA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO INDICADOR AMBIENTAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA USAC**, presentado por el estudiante universitario: **Julio René Elel Asturias**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por acompañarme siempre en mi vida y en mi carrera, por ser mi fortaleza y refugio en los momentos difíciles, por darme la fuerza y la voluntad para siempre seguir adelante y brindarme una vida llena de oportunidades y aprendizaje y, sobre todo, por nunca dejarme perder la fe.

Mis padres

René Alejandro Elel Xoyón y Guísela Lorena Asturias de Elel. Su amor será siempre mi ejemplo e inspiración y sus consejos serán la luz de mi camino. Por los valores y principios que me han inculcado y por haberme dado con todo su esfuerzo la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo una excelente familia.

Mis hermanos

Pedro, Alejandra y Luis Elel Asturias, por su apoyo incondicional y las lecciones aprendidas a su lado a lo largo de mi vida y representar la unidad familiar día a día.

Mi abuela

Gloria Rodríguez, por ser un ejemplo de solidaridad y humildad que siempre estuvo pendiente de mis pasos en el tiempo que estuvo conmigo y por siempre aconsejarme por los caminos correctos.

Mi primo

Salvador Cruz Asturias, que me enseñó siempre el cariño desinteresado para vivir y afrontar mi carrera alegremente.

Mi amigo

Erick Antonio Arenas. Por haber sido un amigo leal que me acompañó en todo momento durante mi vida estudiantil y por haber aprendido juntos el verdadero significado de la amistad.

Mi amigo

Leonel Paíz, por haber sido un amigo leal y un ingeniero de corazón que me enseñó que siempre se puede lograr más.

Mi madrina

Anabella Hernández, quien siempre estuvo a mi lado y me enseñó la importancia y el significado de las pequeñas cosas que hacen grandes diferencias en la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por las oportunidades dadas a lo largo de mi vida estudiantil y por abrir sus puertas para permitirme formarme como profesional de esta prestigiosa casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por enseñarme el valor de la educación y la importancia del conocimiento en el campo de la ingeniería, y por formarme como un profesional autodidacta.

Mis amigos

Josué Montúfar, Jorge Vargas, Ernesto Díaz, Javier Orellana, Miguel Cifuentes, Edwin Rodríguez, Juan Luis Panamá y Mafer Monzón, por brindarme su amistad, tenerme la paciencia necesaria, motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación, confiar en mí y por haber hecho esta etapa una vivencia inolvidable.

**Catedráticos de la
Facultad de Ingeniería**

Por el arduo trabajo en sus períodos de clases magistrales al transmitir su amplio y profundo conocimiento y experiencias de los temas que corresponden a la profesión. Así me han llevado a cumplir mis metas y me guían cada día en mi camino profesional.

Inga. Rossy Dubón

Mi más amplio agradecimiento por haber confiado en este trabajo de investigación, por su paciencia, su tiempo, su valiosa sabiduría, dirección y apoyo para concluir esta última etapa.

ÍNDICE GENERAL

_Toc528098808

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. Reseña histórica de la USAC	1
1.1.2. Las universidades en la Europa Medieval	3
1.1.3. El desarrollo de las academias europeas	4
1.1.4. Continente americano.....	5
1.1.5. Las primeras gestiones para la universidad guatemalteca	6
1.1.6. Fundación de la USAC	7
1.1.7. Los cambios del siglo XVIII.....	9
1.1.8. El rol dentro del proceso de independencia.....	10
1.1.9. La academia y los gobiernos centroamericanos.....	11
1.1.10. Para finales del siglo XIX.....	12
1.1.11. Los cambios en el siglo XX.....	13
1.1.12. Autonomía universitaria	15
1.1.13. En el marco de la Guerra Fría	16
1.1.14. Los retos del siglo XXI	17

1.2.	Misión.....	19
1.3.	Visión	19
1.4.	Facultad de Ingeniería.....	19
1.4.1.	Historia	20
1.4.2.	Misión	24
1.4.3.	Visión.....	24
1.4.4.	Objetivos	24
1.4.4.1.	Objetivo general	24
1.4.4.2.	Objetivos específicos	25
1.4.5.	Estrategia académicas	25
1.4.6.	Estructura organizacional	25
1.4.7.	Situación actual	27
2.	MARCO TEÓRICO	31
2.1.	Efecto invernadero	31
2.1.1.	Gases de Efecto Invernadero (GEI)	31
2.1.1.1.	Dióxido de carbono (CO ₂)	33
2.1.1.2.	Metano (CH ₄)	34
2.1.1.3.	Óxido nitroso (N ₂ O)	35
2.1.1.4.	Hidrofluorocarbonos (HFCs).....	36
2.1.1.5.	Perfluorocarbonos (PFCs).....	36
2.1.1.6.	Hexafluoruro de azufre	36
2.1.1.7.	Monóxido de carbono	37
2.2.	Calentamiento global.....	38
2.3.	Cambio climático	39
2.3.1.	Variabilidad climática.....	41
2.3.2.	Variabilidad de la temperatura.....	41
2.4.	Impacto ambiental	43
2.5.	Huella de carbono	45

2.5.1.	Metodologías para la estimación de la huella de carbono.....	51
2.6.	Déficit ecológico	59
2.7.	Recursos y residuos seleccionados para la estimación de la huella de carbono	61
2.7.1.	Agua	61
2.7.2.	Residuos sólidos.....	63
2.7.3.	Gases no condensables	66
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	67
3.1.	Importancia y riesgos para la Facultad de Ingeniería	67
3.2.	Oportunidades para la Facultad de Ingeniería.....	70
3.3.	Responsabilidad social.....	71
3.4.	Diagrama de espina de pescado	72
3.4.1.	Tabla de causa y efecto.....	73
3.5.	Matriz de análisis FODA	74
3.5.1.	Estrategias para variables correspondientes a cada factor	75
3.6.	Planteamiento de propuesta para la reducción de la huella de carbono del agua y los residuos sólidos.....	76
4.	METODOLOGÍA Y CÁLCULO	77
4.1.	Cálculo de emisiones de CO2	80
4.1.1.	Cálculo directo.....	80
4.1.2.	Cálculo indirecto	81
4.2.	Área de estudio	83
4.3.	Sujetos.....	84
4.4.	Identificación de fuentes principales de residuos sólidos	86
4.5.	Identificación de fuentes principales de consumo de agua	96

4.5.1.	Recopilación de datos	98
4.6.	Consumo de combustible	100
4.7.	Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	101
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	105
5.1.	Cuantificación de emisiones de GEI.....	106
5.2.	Análisis de los resultados.....	106
5.3.	Estrategias para la reducción de GEI.....	108
5.3.1.	Estrategias para minimizar el consumo de combustibles	109
5.3.2.	Estrategias para ahorro de agua	109
5.3.3.	Estrategias para la gestión de residuos	111
5.3.4.	Estrategias para el consumo de papel	111
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	117
	APÉNDICE	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	18
2.	Ubicación de la Facultad de Ingeniería	20
3.	Organigrama	26
4.	Proyección del cambio de temperatura.....	43
5.	Diagrama de espina de pescado (Ishikawa)	73
6.	Formatos de metodología	78
7.	Huella de carbono	83
8.	Distribución de edificios de la Facultad de Ingeniería	84
9.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-1	89
10.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-3	90
11.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-4	92
12.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-5	93
13.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-7	95
14.	Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-6	96
15.	Pozo	97
16.	Consumo de litros de agua por día	99
17.	Porcentaje de emisiones de CO2 al año.....	108

TABLAS

I.	Gases de Efecto Invernadero, fuentes y actividades que los producen	37
----	---	----

II.	Proyección del consumo de agua diario en la Facultad de Ingeniería.....	63
III.	Residuos sólidos producidos en la Facultad de Ingeniería.....	64
IV.	Proyección de residuos sólidos producidos en un día.....	65
V.	Proyección de la generación de desechos, consumos de agua y energía eléctrica de la Facultad de Ingeniería.....	70
VI.	Causa y efecto.....	73
VII.	Análisis FODA.....	75
VIII.	Los valores Z más utilizados y su niveles de confianza.....	82
IX.	Tamaño de la muestra.....	82
X.	Uso general de los edificios de la Facultad de Ingeniería.....	87
XI.	Afluencia promedio de personas en los edificios.....	87
XII.	Muestra de edificio T-1.....	88
XIII.	Muestra de edificio T-3.....	90
XIV.	Muestra de edificio T-4.....	91
XV.	Muestra de edificio T-5.....	93
XVI.	Muestra de edificio T-7.....	94
XVII.	Muestra de edificio T-6.....	95
XVIII.	Consumo de agua según estudio de campo.....	99
XIX.	Consumo de combustible.....	100
XX.	Consumo de litros diarios de combustible por motores.....	101
XXI.	Factores de conversión para el cálculo de la huella de carbono.....	102
XXII.	Huella de carbono.....	103
XXIII.	Emisiones totales del área de estudio/año.....	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CO₂	Dióxido de carbono
GEI	Gases de Efecto Invernadero
g	Gramos
HFCs	Hidrofluorocarbonos
Kg	Kilogramo
Kwh	Kilo watts por hora
L	Litro
M	Metro
CO	Monóxido de carbono
N₂O	Óxido Nitroso ()
PFCs	Perfluorocarbonos

GLOSARIO

BSI	British Standards Institution.
CER	Certificación de Emisiones Reducidas o Bonos de Carbono.
EU-ETS	Sistema de Intercambio de Emisiones de la Unión Europea.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GHG	Green House Gas Protocol.
GHG	Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
PAS 205	Metodología desarrollada por la Institución Británica de Normalización para la cuantificación de huella de carbono.WBCSD World Business Council for Sustainable Development.
WRI	World Resources Institutes.

RESUMEN

La Universidad de San Carlos de Guatemala y la Facultad de Ingeniería juegan un rol fundamental en la búsqueda del bien común y la protección al medio ambiente. Esto involucra una gestión adecuada de los recursos naturales y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que en los últimos años han ido en aumento considerablemente, ocasionando problemas tanto económicos como ambientales que están afectando a toda la población en general, por la contaminación y deterioro del medio ambiente y los cambios climáticos bruscos.

Es preciso saber y tener una herramienta que brinde información concreta, como un indicador ambiental, en este caso la huella de carbono, de dos factores importantes como los residuos sólidos y el agua, lo cual permitirá objetivar las principales tendencias de las dinámicas, tanto ambientales como económicas, y realizar una evaluación ambiental. Este indicador ambiental dará noción de ciertos aspectos a lo largo del tiempo que la Facultad de Ingeniería podrá utilizar para optimizar el uso correcto y manejo de sus recursos naturales, promoviendo así una concientización ambiental y un ahorro significativo, tanto económica como de agotamiento de los recursos naturales disponibles.

La adopción de una actitud responsable es importante para un mejoramiento continuo y notable que involucra acciones concretas para mitigar y minimizar al máximo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y, al mismo tiempo, para fortalecer la misión y visión de la Facultad de Ingeniería con un enfoque ambiental. Conociendo el comportamiento del manejo de los residuos sólidos, líquidos y el consumo de combustibles fósiles, se obtendrán datos evidenciados por valores medibles y comparables, y se puede poner en

marcha un programa que permita la reducción de la huella ecológica en las instalaciones que ocupa la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, en el campus central de la zona 12 de la Ciudad de Guatemala.

El presente trabajo de graduación consta de cinco capítulos, los cuales se describen brevemente:

En el capítulo de generalidades se encontrará información relevante sobre la Facultad de Ingeniería, sitio donde se realizó la investigación: su historia, misión, visión, objetivos, datos relevantes y organización de la misma. En el marco teórico se hablará sobre la teoría de los diferentes temas que se tratarán en la investigación para un mejor entendimiento de la misma.

El planteamiento del problema explicará la importancia y riesgos que representa esta investigación para la Facultad de Ingeniería, así como las oportunidades y la responsabilidad social de esta. En metodología y cálculo se explicará el área de estudio que se eligió para desarrollar la investigación y los sujetos. Se identificarán las fuentes principales de los residuos sólidos y de consumo de agua, así como la recopilación de datos y el cálculo de la emisión de Gases de Efecto Invernadero.

Por último, en resultados y análisis se cuantificarán las emisiones de Gases Efecto Invernadero, se analizarán los resultados y con base en estos se plantearán estrategias para la reducción de los mismos y su mejoramiento continuo.

OBJETIVOS

General

Determinar la huella de carbono del agua y los residuos sólidos como indicador ambiental.

Específicos

1. Identificar y cuantificar las fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la Facultad de Ingeniería, a través de procedimientos científicos certificados internacionalmente y que se adapten al quehacer de la Facultad.
2. Establecer un indicador ambiental en la Facultad de Ingeniería como herramienta de evaluación de sostenibilidad ambiental.
3. Analizar cómo afecta la gestión de los recursos naturales y emisión de Gases de Efecto Invernadero en la actualidad a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y al medio ambiente.
4. Presentar lineamientos para la concepción de estrategias que minimicen al máximo posible la emisión de gases.
5. Sistematizar información recopilada y actualizada como base concreta para proponer la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nadie pone en duda la responsabilidad del ser humano en la contaminación del planeta y en el agotamiento constante y progresivo del agua y demás recursos naturales, así como en relación al calentamiento global por causa del efecto invernadero. En algún momento de la vida surge el cuestionamiento de cómo podría representarse de forma gráfica y práctica todo el consumo y empleo de recursos naturales, alimentos, agua potable y electricidad. Esto produjo la forma de calcular qué superficie terrestre necesitaría una persona para mantener su tren de vida. Se mide el área productiva (tierra y agua) necesaria para obtener los recursos que se consumen día a día y la explosión demográfica del ser humano.

Desde mediados de los años ochenta del pasado siglo, son muchos los científicos y activistas que se han tomado en serio las señales de agotamiento de la capacidad física del planeta para soportar el consumismo existente en la sociedad y han visto la necesidad de construir indicadores que proporcionen información acerca del impacto humano sobre la capacidad de los sistemas naturales para el abastecimiento de los seres humanos. La huella ecológica es un indicador que se define como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para degradar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma definida.

Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, consecuentemente, su grado de sostenibilidad.

Hoy en día la Facultad de Ingeniería se encuentra en proceso de mejoramiento e implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en sus instalaciones del *campus* central. Por lo tanto, como base para esta implementación se determina la huella de carbono de los desechos sólidos que deja su operación.

La huella de carbono es un indicador biofísico de sostenibilidad, reconocido internacionalmente, que determina el consumo y requerimiento de recursos naturales, y que integra el conjunto de impactos sobre Gases de Efecto Invernadero (GEI) que ejerce una cierta comunidad humana sobre su entorno de operación. Permite identificar rutas para controlar, reducir o mitigar las emisiones y su impacto. Usando esta evaluación es posible estimar la cantidad de emisiones contaminantes y considerar la reducción de las mismas, realizando avances inmediatos en los procesos, buscando así disminución de los efectos climáticos que constituyen uno de los mayores desafíos ambientales que se interponen en el camino hacia el desarrollo sustentable en el presente siglo.

1. GENERALIDADES

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala (conocida y llamada por sus siglas: USAC), fundada hace 342 años, es la universidad más grande y antigua instituida de Guatemala, siendo además la única nacional en este país centroamericano. Fue establecida en la Capitanía General de Guatemala durante la colonia española en el año 1667 por el Rey Carlos, es la más prestigiosa institución de educación superior de Centroamérica y la segunda fundada en toda Latinoamérica. Fue la única de Guatemala hasta 1954¹. Actualmente la mayoría de su población es proveniente de las capas medias de la sociedad guatemalteca.

1.1.1. Reseña histórica de la USAC

Aunque las universidades fueron establecidas en la sociedad europea medieval y, por lo tanto, la Universidad de San Carlos es una herencia española en el territorio guatemalteco, entre las sociedades prehispánicas también hubo un importante desarrollo científico y cultural, aunque no se sabe con exactitud si funcionaban centros educativos con planes de estudios específicos.

Lo que se ha logrado determinar hasta el momento es que la educación en el mundo prehispánico era sumamente compleja. La evidencia del uso de la

¹ En 1954 triunfó el golpe de estado del Movimiento de Liberación Nacional (MLN) patrocinado por la United Fruit Company y dirigido por personeros de la CIA y del Departamento de Estado norteamericano que tenían vínculos con la frutera estadounidense. https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_San_Carlos_de_Guatemala#cite_ref-3. Consulta: marzo de 2015.

escritura vigesimal mesoamericana muestra que, hace dos mil seiscientos años, los habitantes de Mesoamérica ya tenían un sistema de aprendizaje del sistema, que se basaba en el concepto de que un conjunto completo estaba integrado por veinte unidades, como la cantidad de dedos en una persona promedio.

La universidad ha tenido cinco épocas:

- Real y Pontificia Universidad de San Carlos Borromeo (1676-1829): establecida durante la colonia por la Corona española en el siglo XVI, aprobada por la Santa Sede² y dirigida por las órdenes regulares de la Iglesia Católica. Tras la independencia de 1821 se llamó únicamente Universidad Pontificia.
- Academia de Ciencias (1834-1840): institución laica creada durante la Federación Centroamericana por el gobernador liberal Mariano Gálvez³.
- Nacional y Pontificia Universidad de San Carlos Borromeo (1840-1875): institución eclesiástica dirigida por las órdenes regulares durante los gobiernos de Rafael Carrera y de Vicente Cerna y Cerna, ratificada por el Concordato de Guatemala de 1854⁴.
- Universidad Nacional de Guatemala (1875-1944): institución laica positivista dividida en las escuelas facultativas de Derecho y Notariado, Medicina y Farmacia. Brevemente, entre 1918 y 1920, se llamó Universidad Estrada Cabrera.

² La Santa Sede es la sede del obispo de Roma, el Papa, que ocupa un lugar preeminente entre las demás sedes episcopales de la Iglesia católica; constituye el gobierno central de la Iglesia. https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_San_Carlos_de_Guatemala#cite_ref-3. Consulta: marzo de 2015.

³ Mariano Gálvez, elegido Jefe de Estado de Guatemala en agosto de 1831, fue un jefe de estado liberal.

⁴ Tratado Internacional entre el presidente de la República de Guatemala y la Santa Sede. Por medio de este Guatemala otorgaba la educación del pueblo guatemalteco a las órdenes regulares de la Iglesia Católica. Cañas, José Simeón (1812).

- Universidad de San Carlos de Guatemala (1944-presente): institución laica con orientación social instituida tras la Revolución de 1944.⁵

1.1.2. Las universidades en la Europa Medieval

A continuación se presenta un recorrido histórico sobre algunos hechos de mucha importancia para el conocimiento de la historia de la USAC. Todos los datos fueron tomados de la página oficial de esta casa de estudios:

Los sistemas de educación en el mundo europeo son tan antiguos como sus culturas. La principal herencia recibida por Europa provino de Egipto y Mesopotamia, donde se estableció un sistema de enseñanza memorístico que duraba alrededor de doce años. Los niños y jóvenes pasaban todo el día memorizando los complejos sistemas de escritura. En la ciudad de Ugarit, actual Siria, hace unos tres mil años, los comerciantes lograron combinar unos símbolos mesopotámicos con un concepto egipcio y desarrollaron el alfabeto, que simplificó la escritura y su aprendizaje.

El alfabeto fue difundido por los fenicios, de quienes lo tomaron los griegos y los romanos. Esto permitió que, cuando los griegos iniciaron los estudios de la naturaleza sin motivaciones religiosas, pudieran transmitir su conocimiento con facilidad. Fue el origen de la filosofía griega y la ciencia occidental. Los romanos conquistadores de los griegos establecieron un sistema educativo para sus élites, por lo cual los jóvenes debían aprender estrategias guerreras y convencer al Senado de utilizar dichas estrategias en la expansión militar.

Este sistema dio origen a los estudios primarios, secundarios y superiores. En los primarios, los niños aprendían lectura, escritura, aritmética y otras disciplinas. En los secundarios los jóvenes aprendían gramática, geometría, geografía, estrategia y otras materias. Solamente los jóvenes destinados por sus familias a la política seguían los estudios superiores o de retórica, que incluía formación en el derecho romano y que les permitía llegar a obtener cargos relevantes en los territorios conquistados y en la capital.

Los primeros cristianos adoptaron este sistema educativo para formar a sus sacerdotes, para que ocuparan cargos administrativos con el paso del tiempo, especialmente el de obispos.

⁵ La Revolución de Guatemala de 1944 fue un movimiento cívico-militar efectuado por militares, estudiantes y trabajadores, que derrocó al Gobierno de facto del general Federico Ponce Vaidés, dio lugar a las primeras elecciones libres en ese país. https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_San_Carlos_de_Guatemala#cite_ref-3. Consulta: marzo de 2015.

Con la caída del imperio romano, en el siglo quinto de la presente era, este esquema educativo se restringió a quienes estudiaban para el sacerdocio, lo que dio origen a las escuelas catedráticas, donde los futuros sacerdotes estudiaban música para el canto divino, astronomía para el cálculo de las fiestas movibles como la Pascua, y derecho para resolver cuestiones dogmáticas. La base de dichos estudios era la lógica, desarrollada por los griegos siglos atrás.

Sin embargo, solamente los futuros sacerdotes podían estudiar, mientras que los monjes y monjas estudiaban en monasterios y abadías. En Italia, tras la desintegración del imperio romano, el comercio fue revitalizándose poco a poco y, en Salerno, en el sur de la península, en el siglo noveno, se reiniciaron estudios entre laicos, lo que dio origen a una escuela para estudios médicos. En el siglo undécimo, por la reactivación comercial en el norte de Italia, en Bolonia, se inició otra institución, pero especializada en derecho, por las disputas entre comerciantes, con base en el derecho romano.

A diferencia de las escuelas catedralicias, se trató de gremios de estudiantes y profesores con conocimiento universal, lo que dio origen a las universidades, que se contuvieron en lugar que proporcionaban profesionales para cargos civiles y permitió el surgimiento de un nuevo tipo de élite, no basado en el nacimiento sino en las capacidades individuales⁶.

1.1.3. El desarrollo de las academias europeas

Continuando con el recorrido histórico del apartado anterior, es útil saber que:

El auge de las universidades europeas se debió a su contexto histórico. En el momento en que surgieron, los monarcas necesitaban funcionarios para la administración civil y que fueran fieles solo al rey, a diferencia de los sacerdotes y monjes que tenían superiores regionales y debían subordinación al Papa. Así, se desarrollaron las universidades en Oxford, Inglaterra, en el siglo once, y París, en el siglo doce. En el siglo trece, en el reino de León, actual España, se estableció la Universidad de Palencia y, en el reino de Castilla, la de Salamanca.

La Universidad de Salamanca tuvo gran trascendencia porque sirvió de modelo para las universidades iberoamericanas. En 1255, fue la primera en recibir el título de Universidad y fue reconocida por el Papa Alejandro IV, con lo que dio inicio a las universidades reales y pontificias, es decir que los títulos que expedía eran reconocidos por las autoridades civiles y eclesiásticas. Una de las mayores impulsoras de esta universidad fue la reina Isabel La Católica, puesto que deseaba controlar a la nobleza y modificar la política en su reino.

⁶ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

Por ello, incrementó el poder de los tribunales de justicia, que quedaron en manos de abogados y no de alcaldes, que eran nobles o militares. Estos tribunales fueron llamados Reales Audiencias. De esta forma, la Universidad de Salamanca se convirtió en la forma más importante de ascenso social entre la baja nobleza e hidalguía castellana, pues hay que recordar que no todas las personas tenían acceso a la universidad. Se necesitaba que la familia sostuviera al joven que ingresaba a los estudios superiores.

Entre los más destacados personajes de la Universidad de Salamanca se encuentran Hernán Cortés, conquistador del imperio Mexica, y fray Bernardino de Sahún, quien documentó la forma de vida de los indígenas en el actual México. Entre todos destacó fray Francisco de Vitoria, quien expuso los argumentos para declarar los derechos de los indígenas frente a la conquista española. Como todas las universidades, expedía los títulos de bachiller, licenciado, maestro y doctor. La indumentaria de las universidades fue austera.

Los estudiantes utilizaban una sotana corta y un bonete o sombrero sin ala, pues no trabajaban en labores manuales, así como una banda de tela sobre el pecho, doblada en forma de uve, con los extremos hacia la espalda, llamada beca. La sotana era una herencia clerical, ya que la mayoría de los maestros eran religiosos o sacerdotes y, a su vez, los trajes eclesiásticos eran una evolución de los trajes romanos del siglo cuarto.

Al graduarse, los profesionales debían usar la toga o traje talar, que llegaba hasta los talones, como símbolo de la edad adulta; muceta, cogulla o esclavina, una prenda que se usó como capa originalmente y que quedó reducida a una pieza que cubría los hombros como símbolo de distinción y protección del conocimiento; birrete en lugar del bonete, con una borla, que distinguía a los licenciados de los doctores, el birrete también simboliza protección de conocimiento. Además, guantes, medalla, bastón, anillo y libro para distinguir a los doctores⁷.

1.1.4. Continente americano

La siguiente información también es de muchísima importancia:

Por la misma razón que se habían desarrollado las universidades en Europa, se establecieron en las llamadas Indias Occidentales. Además, los sacerdotes católicos insistieron en el establecimiento de instituciones superiores para poder formar a nuevos sacerdotes, sobre todo porque para ellos era necesaria la conversión al catolicismo de la población indígena y africana, traída como esclava.

De esa manera, en 1551, a 19 años de iniciada la conquista del imperio inca, se logró el establecimiento de la Real Universidad de los Reyes de Lima, en

⁷ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

el virreinato de Perú. 20 años después le fue conferido el título de pontificia y, en 1574, se le conoció como la Universidad de San Marcos de Lima por tener como patrono al evangelista san Marcos.

La segunda universidad establecida en los dominios hispanos fue la Real Universidad Nacional de México en 1910, que recibió su autonomía en 1929. La tercera universidad fue la de Santo Tomás de Aquino, en Santo Domingo, que fue autorizada por la Corona hasta 1558, aunque ya era pontificia desde 1538. En 1622 fue oficializada la Universidad de Córdoba de Tecumán, en la actual Argentina.

A esos centros de estudios superiores, se agregó uno más en las colonias británicas establecidas en el norte del continente. En 1636 fue establecido en la colonia inglesa de Massachussetes el New Collage, que tres años después recibió el nombre de Harvard, cuando donó su biblioteca y la mitad de su patrimonio para la institución. En 1780 recibió el nombre de Universidad. De manera que, en el siglo XVII había cinco instituciones universitarias en el continente americano.

Las españolas tenían la misma orientación, la formación de profesionales en actividades eclesiásticas, con la base de los estudios establecidos desde la época del imperio romano. Así las cátedras eran Filosofía, Teología, Gramática Latina y otras. También se estudiaba Derecho, tanto civil como eclesiástico. Como en Europa, las clases se recibían en dos jornadas diarias, durante la mañana el catedrático leía una lección en latín, que los estudiantes debían memorizar y, por la tarde, se realizaban debates entre estudiantes, evidenciando la memorización del contenido. Gran parte del éxito de los debates consistía en la argumentación basada en los filósofos más estimados por las universidades, Platón y Aristóteles.

Por su parte, la Universidad de Harvard evidenció los cambios que operaban en las universidades no católicas, especialmente las inglesas, que privilegiaron el uso de técnicas empíricas o experimentales. La tradición inglesa, a partir del franciscano Guillermo de Ockham, abrió nuevas formas de pensamiento y, sobre todo, con Francis Bacon generó la corriente empirista, que dio origen a las ciencias mecánicas.⁸

1.1.5. Las primeras gestiones para la universidad guatemalteca

Ya en el contexto guatemalteco, es muy importante conocer los siguientes datos históricos:

El territorio de la actual Guatemala fue conquistado entre 1524 y 1530. El verdadero éxito militar se obtuvo a partir de 1527, cuando se estableció como base de las operaciones de conquista la ciudad de Santiago de Guatemala, en el

⁸ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

valle de Almolonga, el actual San Miguel Escobar, junto a Ciudad Vieja Sacatepéquez. Como cura de la ciudad se nombró al licenciado Francisco Marroquín. En 1534, la parroquia fue convertida en sede de diócesis y Marroquín se convirtió en el primero obispo.

Marroquín estaba consciente de la importancia de un centro de estudios superiores para la naciente ciudad. Aunque era un pequeña urbe, contaba con una alta concentración de españoles, pues era un paso para los conquistadores que, procedentes de México, buscaban las riquezas de Perú. La ciudad también atrajo a los comerciantes españoles que se dedicaron a las exportaciones de cacao hacia México. En 1548 el obispo Marroquín solicitó a la Corona el establecimiento de una universidad, cuando la ciudad ya estaba en el valle de Panchoy”.

La solicitud no fue atendida por lo que, cuando falleció Marroquín, en 1563, dejó un patrimonio de dos mil pesos para la fundación de un Colegio Mayor donde se sirvieran las cátedras de gramática, aritmética, geometría, astronomía y música, así como teología y derecho eclesiástico.

En 1620, con el legado de Marroquín se logró el establecimiento, del Colegio Mayor de Santo Tomás, dependiente de los dominicos. Durante el final de la Edad Media los dominicos eran los clérigos con mejor formación académica, dentro de sus exponentes estaba el mayor representante de la filosofía escolástica, Santo Tomás de Aquino. Sin embargo, en el siglo XVII otra orden religiosa contaba con importantes metodologías de enseñanza, eran la Compañía de Jesús. En la ciudad de Santiago de Guatemala la Compañía estableció dos colegios, el de San Lucas y el de San Francisco de Borja, con un plan universitario, mientras otros religiosos tenían sus propios colegios.

Los franciscanos contaban el de San Buenaventura y los mercedarios tenían el de San Jerónimo. Como es lógico, cada orden intentaba formar a sus religiosos, con lo que los laicos quedaban con limitadas posibilidades de formación superior, por ello, jesuitas y dominicos abrieron espacios para laicos de familias de élite en sus respectivos colegios. Sin embargo, las posibilidades de ascenso social y político de las élites eran limitados, puesto que no había lugar para la formación de médicos ni abogados y, los abogados eran indispensables para el funcionamiento de la máxima autoridad de la Corona en el reino, la Audiencia de Guatemala. Por ello, las élites locales deseaban participar activamente en las decisiones de la Audiencia. Así en 1660, con los aportes económicos dejados por Sancho de Barahona, Isabel de Loaiza y Pedro Crespo Suárez, el obispo Payo Enríquez, quien introdujo la imprenta en Guatemala, solicitó nuevamente la creación de una universidad en la ciudad de Santiago de Guatemala. Esta nueva solicitud tuvo éxito y, en 1676 la Corona autorizó la fundación de la universidad guatemalteca.⁹

1.1.6. Fundación de la USAC

La fundación de la universidad se dio de la siguiente manera:

⁹ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

Para la sociedad española de la ciudad de Guatemala, la instauración de la Universidad fue un acontecimiento memorable. Sin embargo, para su organización se requirió una serie de actividades que hicieron que entrara en funciones hasta 1681.

El juez superintendente y primer rector provisional fue el fiscal de la Real Audiencia, Juan Bautista Urquiola y Elorriaga, graduado en Salamanca. A los dominicos les fue expropiado el edificio del colegio Santo Tomás, se remodeló y se instaló un escudo real en la fachada.

Se abrieron siete cátedras: teología, escolástica, teología moral, cánones, leyes, medicina y dos idiomas indígenas. A éstas, Urquiola añadió las cátedras de instituta, que consistía en fundamentos legales, y artes, que incluía gramática, dialéctica, retórica, aritmética, geometría, astronomía y música.

Entre 1677 y 1678 se agrió la oposición para cátedras en México, Puebla y Guatemala. Las oposiciones se realizaron en la Universidad de México, donde uno de los examinadores, el oidor, es decir juez de la Real Audiencia, Francisco Gárate y Francia había sido oidor en Guatemala. Hubo un total de 33 candidatos. Fueron electos siete residentes en Guatemala y uno de México, el de medicina. El catedrático de Kaqchikel fue el fraile dominico José Ángel Cenollo.

Sin embargo, por problemas en la convocatoria, el rey suprimió la elección y se nombró catedráticos interinos en 1680, por lo que las clases empezaron hasta 1681. En la mañana, se leían las cátedras de teología y cánones, de 7 a 8 horas; leyes, de 8 a 9; medicina y artes de 9 a 10, y de kaqchikel, de 10 a 11. La lectura consistía en que el catedrático dictaba un tema que los alumnos debían memorizar. Por la tarde, se leía teología e instituta, de 15 a 16; y artes de 16 a 17.

Cada cierto tiempo se realizaba una disputa, es decir un debate entre los estudiantes, utilizando los argumentos que aparecían en los libros de los autores de la biblioteca. Todas las clases se daban en latín y, en caso de los idiomas indígenas, era la enseñanza de que correspondiera.

Hubo un total de 60 estudiantes inscritos en las primeras clases, 7 de teología, 36 de artes y 17 kaqchikel.

En 1686 se ordenó que se hicieran oposiciones para catedráticos en España, en las Universidades de Salamanca, Valladolid y Alcalá de Henares. Ese mismo año, asumió el cargo de primer rector, el doctor José de Baños y Sotomayor, nombrado por el rey y uno de los principales promotores de la Universidad. Para entonces se habían graduado dos generaciones de bachilleres.

El abogado Francisco de Sarassa y Arce fue el encargado de elaborar las Constituciones y Estatutos de la Universidad, para lo que tomó de modelo las constituciones de la Universidad de Salamanca y la de México.

Por último, en 1687, el Papa Inocencio Undécimo otorgó a la Universidad el título de Pontificia, con lo que sus egresados estaban al mismo nivel que los de los centros educativos de Europa. El primer graduado como doctor fue Lorenzo Pérez Dardón en 1688. Así inicio la vida universitaria en Guatemala.¹⁰

¹⁰ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

1.1.7. Los cambios del siglo XVIII

Es útil adentrarse aún más en la historia de la universidad:

Mientras la Universidad de San Carlos tomaba cuerpo como institución formadora de jóvenes generaciones, se iniciaba una importante transformación en Europa. En el siglo XVII se iniciaron estudios experimentales en el norte de Italia, con Galileo Galilei y Evangelista Torricelli, surgió el pensamiento de René Descartes, en Francia, y el empirismo en Inglaterra, con Francis Bacon. De manera que, las universidades hispanas empezaron a quedarse rezagadas en cuanto a los descubrimientos más recientes.

En 1750, en Guatemala, ya se conocía el pensamiento de Descartes. Ese año, se realizó una polémica entre el jesuita José Vallejo, seguidor del método cartesiano, y el franciscano Juan de Terraza, afín a la filosofía escolástica. La cuestión era si el caldo de res podía consumirse en días de ayuno. Aunque hoy día puede parecer cuestión insignificante, en su momento era de gran importancia para la sociedad. Terraza tuvo que acudir métodos experimentales para demostrar la vinculación de la carne con el caldo.

Estos experimentos fueron reflejo de las lecturas de obras como de los franceses Antonio Pluche, sobre historia natural, de 1732, y Antonio Nollet, sobre física experimental de 1743, e influenciaron a un joven franciscano, José Antonio Liendo y Goicoechea, de 15 años, graduado de bachiller a los 12 y originario de Cartago, Costa Rica. A los 29 años, Liendo impartió la clase de filosofía en la Universidad de San Carlos de Guatemala donde incorporó la filosofía racional, es decir física y química experimental. Al parecer, viajó a España entre 1765 y 1767, donde adquirió varios libros para su cátedra. Al regresar, la universidad había quedado sin la presencia de los jesuitas, expulsados por orden del rey Carlos Tercero, pero los estudiantes ya tenían información sobre los métodos experimentales.

A partir de 1767, además de libros ya citados, Liendo utilizó los del francés Francisco Jacquier, sobre física newtoniana, de 1742; del italiano Fortunato de Brescia, sobre anatomía y fisiología con uso de microscopio; ambos franciscanos, y otros, con lo que modificó la enseñanza de la geografía y geometría e introdujo la óptica.

En 1782, con la anuencia del rector, Isidro Sicilia, propuso y obtuvo la reforma en el plan de estudios de la Universidad. Con esto, se incorporaron las cátedras de anatomía, patología y terapéutica, cuando en otros lugares no se enseñaba ni matemática. En 1787, Liendo fue enviado por su orden a España para promover misioneros en Guatemala. Durante este viaje aprovechó para viajar a Francia, donde consultó diversas bibliotecas, adquirió numerosos libros y fue comisionado por el Jardín Botánico de Madrid para enviar muestras de plantas y semillas desde Guatemala.

Regresó en 1789 y, al año siguiente fue nombrado calificador del Santo Oficio, por lo que tenía que leer cualquier libro extranjero, esto le permitió

incorporar aún más conocimientos a la Universidad, en especial de economía clásica. Entre los egresados de esa época estuvieron el médico José Felipe Flores, inventor de figuras de cera para enseñar anatomía; Narciso Esparragoza, introductor de la vacuna; José Cecilio del Valle y Pedro Molina, personajes que influenciaron la política del siglo XIX.¹¹

1.1.8. El rol dentro del proceso de independencia

Como se ve a continuación, la universidad jugó un importante rol en el proceso de independiencia:

Debido a su importante papel académico y social, la Universidad siempre estuvo relacionada con la toma de decisiones que afectaban a la capital, especialmente a los criollos o españoles nacidos en América. Desde 1785, la Corona había dividido el reino de Guatemala en Intendencias, o gobernaciones más pequeñas, para fomentar el comercio y el cobro de impuestos.

La Intendencia de Chiapas se orientó a Oaxaca, en México; la de Honduras, hacia Cuba; la de Nicaragua hacia Perú; la provincia de Costa Rica, hacia Panamá y la Intendencia de El Salvador exportaba añil, a través de la ciudad de Guatemala. Esto provocó poco interés comercial hacia la capital que, por la orden del traslado de la ciudad, se volvió una carga financiera para todo el reino. Por otra parte, se produjo un efecto dominó en el siglo XVIII.

El apoyo español a la independencia de Estados Unidos influenció a la Revolución Francesa y ésta afectó a España, pues los reyes españoles eran parientes de los franceses. Así, a partir de 1789 se inició una etapa de guerra contra Francia que terminó en una alianza contra Inglaterra. La falta de recursos motivó al rey Carlos IV a ordenar, en 1804, una ley que expropió todos los préstamos hipotecarios que existían a favor de las comunidades religiosas para que pasaran a la Corona. La medida provocó un caos económico en toda América.

Las órdenes religiosas quedaron empobrecidas, quebraron numerosos talleres, hubo desempleo y, como no se extraía suficiente plata para las monedas, el reino de Guatemala quedó sin circulante. Como parte de las operaciones francesas, el ejército galo invadió España en 1808 y retiró del gobierno a Carlos IV. Por ello, en 1810 se iniciaron movimientos contra las autoridades nombradas por los franceses. Se convocó a representantes para elaborar una Constitución que liberase a los españoles de los franceses. Desde todos los dominios españoles fueron convocados criollos que llegaron a Cádiz. Fue la primera vez que se realizaron elecciones en el reino de Guatemala y se hizo por ayuntamientos de españoles.

¹¹ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

El representante de Guatemala fue Antonio Larrazabal, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la principal misión de Larrazabal fue cumplir con las instrucciones redactadas por el Ayuntamiento, cuyos miembros también eran egresados de la universidad y buscaban recuperar la economía del reino.

Los diputados elaboraron una Constitución que entró en vigor en 1812 y limitaba el poder del rey. Tuvo una aplicación relativa y fue totalmente suprimida cuando el rey Fernando VII asumió el gobierno, en 1814. Los diputados, incluido Larrazabal, fueron hechos prisioneros. Mientras esto pasaba en España en Guatemala, asumió el gobierno José Bustamante y Guerra, quien suprimió cualquier intento de separación. De cualquier manera, en 1821, la Independencia de México era un hecho, por lo que Chiapas se unió al nuevo país. Para evitar la desintegración del reino, la Audiencia, el Ayuntamiento, el Cabildo Eclesiástico y los miembros del claustro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, promulgaron la Independencia del 15 de septiembre de 1821. Empezó un período difícil en la historia de la región.¹²

1.1.9. La academia y los gobiernos centroamericanos

Es importante ahondar en los siguientes datos:

La primera independencia del reino de Guatemala se firmó el 15 de septiembre de 1821, pero el 5 de enero de 1822 se firmó la anexión a México. La situación del reino era difícil, la economía estaba en crisis y ni siquiera se podían pagar los salarios de los empleados del gobierno. En la Universidad de San Carlos de Guatemala se estaban formando dos grupos, los que deseaban un cambio, que incluía la separación de los eclesiásticos del gobierno y un proteccionismo comercial, que fueron llamados liberales, y quienes deseaban que el gobierno continuara y exigían autonomía comercial, que fueron llamados conservadores. Los liberales se agruparon alrededor de Francisco Barrundia y Pedro Molina, mientras que los conservadores lo hicieron con José Cecilio del Valle y Juan José Aycinena.

El dominio mexicano terminó en 1823 y con él se separó Chiapas. En el Salón Mayor del hoy Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el 1 de julio de 1823 se firmó la Independencia definitiva. Por ser el edificio con mejor capacidad para reunir a los representantes del todo el istmo, la universidad cedió sus instalaciones para la formación del Congreso que dio origen a la Federación Centroamericana.

Mientras tanto, los egresados de la universidad se convirtieron en los diputados y funcionarios del nuevo gobierno. Así, el mandato del primer presidente, Manuel José Arce, dio inicio y poco después, en 1826, la primera guerra civil entre liberales y conservadores. La guerra terminó en 1829, con la invasión y saqueo de la ciudad de Guatemala por los liberales, al mando de

¹² USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

Francisco Morazán. Durante el gobierno de Morazán en Centro América, gobernó el Estado de Guatemala Mariano Gálvez, con ideales liberales.

Egresado de la Universidad de San Carlos la disolvió para convertirla en Academia de Estudios, con la intención de separarla de los catedráticos eclesiásticos, por lo que las aulas pasaron al convento de Santo Domingo, primero, y de San Francisco, después, ya que ambos edificios habían sido expropiados por Morazán y los religiosos, expulsados.

Los proyectos de Gálvez eran ambiciosos, manó traer un docente inglés para implementar el método lancasteriano, con base en monitores, pero no había dinero para pagarle, por lo que tuvo que regresar a su país.

Intentó cambiar el modelo judicial, con el apoyo de Barrundia; promovió una migración inglesa a Izabal y, como ninguno de sus proyectos avanzaba por falta de fondos, restableció el tributo personal. Por esto, un grupo de campesinos, al mando de Rafael Carrera, atacó la capital y obligó a su destitución, lo que fue aprovechado por los conservadores para recuperar el poder.

Mariano Rivera Paz asumió la jefatura de Estado, suprimió la separación del Estado de los Altos y en 1840, la universidad fue restablecida según su organización original, en su edificio actual Museo Universitario. En 1847, durante el gobierno de Rafael Carrera, se creó la república de Guatemala. Se había iniciado una recuperación económica basada en las exportaciones lo que permitió que se recobraran varias instituciones, sobre todo la universidad. A partir de 1851, cuando regresaron los jesuitas, la universidad estuvo bajo su cuidado.¹³

1.1.10. Para finales del siglo XIX

Esta información es importante para entender el papel de la USAC en el siglo XIX:

Durante los gobiernos conservadores, la Universidad de San Carlos de Guatemala funcionó como lo había hecho durante el gobierno español. Sin embargo, uno de sus estudiantes egresados como notario, se convirtió en uno de sus transformadores. Él era Rufino Barrios. Conoció la disciplina jesuita y abrazó los ideales liberales. Tras la muerte de Rafael Carrera, quien había sido declarado por la Asamblea como presidente vitalicio, los conservadores ganaron las elecciones. Pero los liberales exigieron un cambio por la fuerza.

Serapio Cruz, llamado Tata Lapo, se alzó en armas contra el gobierno y murió. Fue seguido por el acaudalado comerciante Miguel García Granados quien, del gobierno de Benito Juárez, obtuvo armas para tomar el poder en Guatemala.

¹³ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

En México, a García Granados se le unió Barrios, en poco tiempo vencieron al gobierno conservador y, el 30 de junio de 1871, ingresaron a la capital. García Granados asumió la presidencia. Fue sustituido en forma interina, primero, y en definitiva, después, por Barrios, sin elecciones.

El gobierno de Barrios se caracterizó por reformar la economía del país. Las exportaciones del grano habían decaído por la competencia de tintes industriales, pero el café era una buena opción. Barrios decretó la expropiación de tierras de indígenas y la concesión gratuita a particulares que se dedicarían a productos de exportación. A pesar de la oposición de los ayuntamientos indígenas, algunas violentas, la medida se impuso.

Numerosos miembros del partido liberal se convirtieron en finqueros. Muchos operaban mediante préstamos a casas bancarias alemanas, ya que Alemania era el principal comprador del grano guatemalteco. La crisis de los precios de 1896 provocó un caos para muchos finqueros, puesto que fueron incapaces de pagar sus deudas y los bancos alemanes ejecutaron las hipotecas. En lugar de revender las tierras, los bancos germanos decidieron convertir las plantaciones en Guatemala en las más productivas de la época y lo lograron, al mismo tiempo que se produjo una migración de empleados y expertos alemanes al país. Mientras esto ocurría en la economía, Barrios decretó la expulsión de los jesuitas y, luego, de todos los religiosos.

En 1875, la Universidad de San Carlos de Guatemala fue transformada en la Universidad Nacional y sus viejos símbolos cayeron en desuso. Al año siguiente se abrió la universidad de occidente, como parte del mismo centro de estudios.

De acuerdo con las leyes liberales, el Estado controlaba la educación en todos los niveles. Se organizaron las facultades de Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales, Medicina y Farmacia, Ciencias Eclesiásticas el Consejo Superior Universitario, integrado por el rector y los decanos.

En 1882, las facultades eran de Derecho y Notariado, Medicina y Farmacia, Ingeniería, Filosofía y Literatura. En cinco años se suprimió la enseñanza religiosa, meta de los liberales. Durante este período, los enemigos políticos del régimen tuvieron resguardo en la Penitenciaría Central, construida en 1877 por orden de Barrios. Éste murió en 1885 tratando de anexionar El Salvador a su gobierno.¹⁴

1.1.11. Los cambios en el siglo XX

El siglo XX es de gran importancia para la historia del país, por eso es útil contar con esta información sobre la USAC en este período:

¹⁴ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

En todas las universidades se estaban realizando cambios importantes en el siglo XX. En 1918, en la Universidad de Córdoba, Argentina, se produjo un movimiento de reforma que impactó para siempre en las universidades latinoamericanas. A imitación de las huelgas de sindicatos, los estudiantes iniciaron una huelga. Exigieron varios cambios: 1) Libertad de cátedra, es decir que los docentes no tuvieran que esperar la autorización del gobierno central para la enseñanza ni la selección de libros, puesto que los funcionarios no necesariamente estaban actualizados con las ciencias. 2) Autonomía, es decir que la universidad decidiera por sí misma, sin autorización del régimen de turno. 3) Un gobierno entre docentes, graduados y estudiantes, con la idea de que únicamente los estudiantes y egresados conocían los verdaderos intereses de un centro de educación superior. 4) Extensión, es decir que la universidad tuviera una inserción en la sociedad, que sus conocimientos no fueran pura especulación sino que tuvieran aplicación para solucionar los problemas de su entorno. 5) Concursos de oposición para los docentes, de manera que se impidiera el favoritismo por amigos o familiares de funcionarios, muchas veces sin capacidad. 6) Fomento de la investigación, puesto que las universidades latinoamericanas estaban en desventaja con las europeas y estadounidenses, donde se realizaban los principales hallazgos científicos y tecnológicos. 7) Solidaridad latinoamericana, que hubiera una constante comunicación entre universidades y que fuera productiva; y 8) Unidad obrero estudiantil, con la convicción que la universidad debía apoyar u reducir apoyo de los grupos menos privilegiados de la sociedad, puesto que tenían un interés común, una mejoría general para la población.

Sin embargo, en Guatemala, estos cambios tuvieron que para 1920, cuando un grupo de políticos logró destruir al presidente Estrada Cabrera quien, para mantenerse en el poder, atacó la capital desde su casa, en la actual zona 5, durante la Semana Trágica de abril de 1920. Tras estos incidentes, se convocó a elecciones y se estableció el primer gobierno electo del siglo XX.

Entre las primeras acciones estuvo la de suprimir el nombre de Estrada Cabrera de cualquier institución o lugar geográfico, por lo que se restauró la Universidad Nacional. Aunque el nuevo gobierno duró poco más de un año, se permitió a la Universidad adherirse a las reformas de Córdoba. De esa cuenta, en 1920 se inició la Extensión Universitaria, surgieron la Asociación del Derecho, Juventud Médica y la Asociación de Estudiantes Universitarios. En 1921 se restableció la Huelga de Dolores. Para ella, Hernán Martínez Sobral pintó al personaje de La Chabela, como una sátira de la muerte, mientras que José Luis Balcárcel, David Vela, Alfredo Valle Calvo y Miguel Ángel Asturias, con música de José Castañeda, compusieron La Chalana.

Después de los terremotos de 1917 y 1918 que prácticamente destruyeron el edificio de la Universidad, el ingeniero alemán Roberto Hoegg construyó la Escuela de Ciencias Naturales y Farmacia, inaugurada en 1928. Entre 1926 1930 se construyeron el Paraninfo, Escuela de Medicina y Escuela de Odontología, a cargo de los ingenieros León Yela, Juan Domergue, Arturo Aguirre Guido Albani.¹⁵

¹⁵ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: 15 de marzo de 2015.

1.1.12. Autonomía universitaria

Sobre la autonomía universitaria es útil saber:

La Junta revolucionaria integrada por Francisco Javier Arana, Jacobo Arbenz Guzmán y Jorge Toriello, emitió el Decreto No. 12 por el que se estableció, en 1944 la Autonomía Universitaria. Este Decreto fue emitido para evitar que cualquier gobernante pudiera controlar la Universidad Nacional de San Carlos de Guatemala como lo había hecho Jorge Ubico.¹⁶

Además, según la página oficial de la USAC:

En los considerandos del Decreto se destacó la importancia de la investigación de los problemas que afrontaba el país, así como la difusión de la cultura. Se estableció su autonomía respecto al gobierno, personalidad jurídica, capacidad de adquirir, administrar y enajenar bienes. En ese momento integraban la universidad las Facultades de Ciencias Jurídicas y Sociales, Ciencias Médicas, Ciencias Económicas, Ciencias Naturales y Farmacia, Ingeniería, Odontología y Humanidades, aunque ésta empezó a funcionar tiempo después.

Además del gobierno triunviro, firmó el Decreto el Secretario de Estado en el despacho de Educación Jorge Luis Arriola y pasó a la Asamblea Legislativa de la República. De manera que, cuando se elaboró la Constitución, la autonomía se mantuvo y se estableció la obligatoriedad del financiamiento por parte del Estado. A partir de entonces, la universidad ha tenido numerosas prerrogativas, como voto en la elección de magistrados, en la presentación de anteproyectos de Ley, en la Junta Monetaria, en el Banco Central y otros privilegios que incrementaron su participación en la actividad económica y política de una forma sin precedentes.

La primera Ley Orgánica de la Universidad fue promulgada por el Congreso de la República en 1945. Fue modificada en 1947. De acuerdo con esta Ley, su fin primordial es elevar el nivel espiritual de los habitantes promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico. Además debe promover la integración centroamericana. Se constituye por facultades y centros universitarios.

Las autoridades de la Universidad son el Consejo Superior Universitario, el Cuerpo Electoral y el rector. A su vez, el Consejo está integrado por el rector, el decano de cada Facultad, un representante de cada colegio profesional, de preferencia docente universitario, y un representante estudiantil por Facultad, todos con voto así como Secretario y el Tesorero sin voto.

El Cuerpo Electoral, que se convoca cada cuatro años para la elección del rector, está integrado por el rector saliente, cinco profesores y cinco estudiantes

¹⁶ Oficina de Derecho Humanos del Arzobispado. *Sobre la Revolución de 1944*. Consulta: 17 de marzo de 2018.

por cada Facultad y cinco profesionales no catedráticos por cada colegio profesional.

El Rector es el representante legal de la Universidad y se encarga de ejecutar y cumplir las decisiones del Consejo Superior Universitario. Cada Facultad está regida por una Junta Directiva un Decano. Además, a lo largo de su historial, la Universidad ha creado una legislación propia.

En la Constitución Política de la República de Guatemala, Elaborada en 1985 y modificada en 1993, se garantiza la Autonomía Universitaria y su papel rector en la educación superior del país, así como la obligatoriedad de su financiamiento con no menos del cinco por ciento del Presupuesto General de Gastos Ordinarios del Estado.¹⁷

1.1.13. En el marco de la Guerra Fría

La siguiente información es clave para entender el papel de la USAC durante la guerra:

Tras la Revolución del 44, diplomáticos ingleses y estadounidenses acusaron a los gobiernos de Juan José Arévalo y Jacobo Árbenz de comunistas, especialmente luego de que éste emitiera el Decreto que expropiaba tierras no cultivadas a particulares. Con apoyo de la Central de Inteligencia de Estados Unidos, Carlos Castillo Armas logró expulsar al gobierno de Árbenz, en un movimiento que se autodenominó la Liberación de 1954. La Universidad de San Carlos, durante el gobierno de Árbenz, fue escenario de un grupo anticomunistas.

El nuevo gobierno suspendió garantías constitucionales y, en 1956, una gran cantidad de estudiantes manifestó por el retorno a la constitucionalidad. En la esquina de la 11 calle y 6a avenida de la zona 1, se disolvió la manifestación con el uso de las armas, por lo que murieron cinco estudiantes universitarios. En 1962, los estudiantes universitarios volvieron a protestar contra la forma en que se estaba desarrollando el gobierno, en unión con estudiantes del nivel medio, empleados municipales y del Organismo Judicial.

En las preparaciones para manifestar fueron asesinados tres estudiantes en la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, actual Museo Universitario. Ese mismo año, la guerrilla asumió los ideales socialistas. A partir de entonces, en el marco de la Guerra Fría, se produjo una serie de muertes por ambos bandos y que involucró a numerosos miembros de la comunidad universitaria.

A nivel internacional, el fenómeno universitario era generalizado, especialmente en 1968, con enfrentamientos en París y México. Las consecuencias de la Guerra Fría en la Universidad de San Carlos fueron lamentables. En 1970 la Universidad fue ocupada por el Ejército; en 1976 el

¹⁷ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

entonces rector, Roberto Valdevellano Pinot, sufrió un atentado; en 1977 fue asesinado el Ex Decano de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Mario López Larrave; en 1978 abandonó la rectoría Saúl Osorio Paz; el mismo año fue asesinado el Secretario de Organización de la Asociación de Estudiantes Universitarios, Oliverio Castañeda de León; en 1981 fue asesinado el rector Mario Dary; en 1983 el ex rector Leonel Carrillo Reeves y durante el resto del conflicto armado interno, se produjo una extensa serie de asesinatos que no llevaron a solucionar ningún problema, demostrando la inutilidad del uso de la violencia.¹⁸

1.1.14. Los retos del siglo XXI

Para conocer el papel de la universidad en el presente siglo es importante la siguiente información:

La Universidad, ahora como en el pasado, se encuentra ante una serie muy variada de retos. Los hay de todo tipo, económicos, políticos, ideológicos, culturales y sociales. Por lo tanto, la Universidad tiene que estar dispuesta a enfrentarlos y con éxito. Los docentes actuales tienen que resolver algo que no consideraron las generaciones precedentes, que los jóvenes no serán como los adultos actuales.

Las innovaciones tecnológicas han creado una brecha generacional sin precedentes. Por ello, la Universidad tiene que preparar profesionales del futuro, dispuestos y preparados para los cambios acelerados y repentinos. No es una tarea fácil, pero tampoco imposible. Se requiere voluntad y vocación.

La responsabilidad de la Universidad ante el país es excepcional. Al estar financiada por los impuestos de todos los contribuyentes, acaudalados, de estratos medios y de escasos recursos, se debe a todos, sin excepciones. El servicio debe ser la única medida de valor. Y ese servicio debe ser de calidad. La oferta de profesionales que egresa de la universidad, debiera estar fundamentada en la ética y los valores de los guatemaltecos.

Una ética inquebrantable que no riña con los beneficios económicos. Ningún estudiante de medicina realiza años de esfuerzo sin esperar una remuneración económica a mediano plazo, tener esa expectativa es pensar en forma positiva. Tampoco un profesional de agronomía o ganadería debiera sentir escrupulo por tener aspiraciones empresariales.

De eso se trata la formación superior, de crear profesionales y empresario. Una de las mejores maneras de lograr el desarrollo del país es precisamente la generación de actividades empresariales que generan riqueza, empleo y más empresas. La cantidad de carreras que surgen en la actualidad obligará a la estructura actual de la Universidad de San Carlos a adaptarse a esos cambios. Las tecnologías y el mercado mundial lo exigen, ya no puede pensarse en los

¹⁸ USAC. *Información sobre la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

tipos de enseñanza medievales ni en la enseñanza del siglo XX. La visión es hacia el futuro, pues la responsabilidad es muy grande con el pueblo de Guatemala.

Y un ejemplo puede servir de referencia. Así como los guatemaltecos se han repuesto de desastres naturales y políticos, así se enfrentan a un futuro cambiante con optimismo, manifestado en el buen humor. Las aulas universitarias deben ofrecer esas opciones. Durante el cierre temporal de la Universidad en 2010, muchos docentes recurrieron al aprendizaje virtual. No era una novedad, muchas universidades lo han implementado.

Poco a poco, la tendencia mundial será absorbida por la Universidad de San Carlos. La historia lo ha demostrado, la Universidad se adapta, evoluciona, cambia y mejora, por eso sigue viva y por eso nutre las mentes de sus estudiantes y egresados. El compromiso es ser mejor cada día y buscar una mejor Guatemala en el presente y el futuro, como reza el lema sancarlista tomado del Evangelio de Mateo 28, 19: "Id y enseñad a todos", seguirá siendo la premisa de esta casa de estudios, enseñanza de acuerdo con los tiempos y las necesidades de cada individuo y de la sociedad.¹⁹

El campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala está ubicado en la actualidad en la 11 avenida de la zona 12 de la ciudad de Guatemala, como se muestra a continuación:

Figura 1. **Ubicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: *Ubicación de la USAC.*

<https://www.google.com.gt/maps/place/Universidad+de+San+Carlos+de+Guatemala/@14.5867145,-90.5536832,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0xc41e0810dd744602!8m2!3d14.5863885!4d-90.5528132> Consulta: 5 de septiembre de 2017.

¹⁹ USAC. *Información sobre la USAC.* <https://www.usac.edu.gt/historiaUSAC.php#lepp>. Consulta: marzo de 2015.

1.2. Misión

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.²⁰

1.3. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.²¹

1.4. Facultad de Ingeniería

La Facultad de Ingeniería se dedica a la formación de profesionales de prestigio, cuyos conocimientos contribuyen al progreso científico y tecnológico de Guatemala.²²

En esta unidad académica se desempeñan seis escuelas facultativas de pregrado que disponen de doce carreras, una escuela de postgrado con carácter regional centroamericano; además, del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), de manera que su proyección es amplia hacia diversas actividades económicas y sociales del país.²³

La Facultad de ingeniería se encuentra dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como se muestra a continuación:

²⁰ *Misión y visión de la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: febrero de 2016.

²¹ *Ibíd.*

²² *Facultad de Ingeniería*. <https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/index.php/aspirante/antecedentes>. Consulta: febrero de 2016.

²³ *Ibíd.*

Figura 2. **Ubicación de la Facultad de Ingeniería**



Fuente: *Ubicación de la Facultad de Ingeniería.*

<https://www.google.com.gt/maps/place/Facultad+de+Ingenier%C3%ADa/@14.587857,-90.5521839,17.51z/data=!4m5!3m4!1s0x8589a13d5cf70e91:0xdca4884d31b3c9bc!8m2!3d14.5876251!4d-90.5531573>. Consulta: 5 de septiembre de 2017.

1.4.1. **Historia**

La historia de esta facultad es la siguiente:

Desde 1676, en sus primeras épocas, la Universidad de San Carlos graduaba teólogos y abogados; posteriormente, a médicos. En 1769 se crearon cursos de física y geometría, lo que marcó el inicio de la enseñanza de las ciencias exactas en Guatemala.

En 1834, cuando el jefe de Estado de Guatemala era Mariano Gálvez, se creó la Academia de Ciencias, sucesora de la Universidad de San Carlos y se implantó la enseñanza de álgebra, geometría, trigonometría y física, además, de otorgaron títulos de agrimensores. Francisco Colmenares, Felipe Molina, Patricio de León y José Batres Montufar fueron los primeros graduados.

La Academia de Ciencias funcionó hasta 1840, hasta que, en el gobierno de Rafael Carrera volvió a transformarse en universidad. La Asamblea publicó los estatutos de la nueva organización, mediante los cuales exigían que para obtener el título de agrimensor era necesario poseer el título de bachiller en filosofía, tener un año de práctica y aprobar el examen correspondiente.

En 1873 se fundó la Escuela Politécnica para formar ingenieros militares, topógrafos y de telégrafos, además de oficiales militares. Decretos gubernativos específicos de 1875 son el punto de partida para considerar la creación formal de las carreras de ingeniería en la recién fundada Escuela Politécnica; carreras que más tarde se incorporaron a la Universidad.

En 1879 se estableció la Escuela de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala; por decreto del Gobierno, pero en 1882, se tituló como Facultad dentro de esa institución y se separó de la Escuela Politécnica. El ingeniero Cayetano Batres del Castillo fue el primer decano de la Facultad de Ingeniería; dos años más tarde fue el ingeniero José E. Irungaray. Durante su gestión se reformó el programa de estudios; como consecuencia, la duración de la carrera de ingeniería se redujo en dos años; de ocho, pasó a durar seis años.

En 1894, por razones de economía, la Facultad de Ingeniería fue adscrita nuevamente a la Escuela Politécnica; entonces se inició un período de inestabilidad para esta Facultad, que pasó varias veces de la Politécnica a la Universidad y viceversa; ocupó diversos locales, entre ellos, el edificio de la Escuela de Derecho y Notariado.

Dentro de esas vicisitudes, en 1895 se iniciaron nuevamente los estudios de ingeniería en la Escuela Politécnica; ahí ofrecían las carreras de ingeniero topógrafo, ingeniero civil e ingeniero militar. Se graduaron once ingenieros civiles y militares. La inestabilidad terminó con la supresión de la Escuela Politécnica en 1908, a raíz de los acontecimientos políticos acaecidos en ese año. El archivo de la Facultad permaneció en el mismo lugar hasta 1912, año en que fue depositado temporalmente en la Facultad de Derecho.

De 1908 a 1918 la Facultad tuvo una existencia ficticia. El gobernante Manuel Estrada Cabrera reabrió la Universidad y a la Facultad de Ingeniería se le denominó Facultad de Matemáticas. Entre 1908 y 1920, a pesar de los esfuerzos de los ingenieros guatemaltecos y por causa de la desorganización imperante, únicamente se incorporaron tres ingenieros que obtuvieron el título en el extranjero. En 1920 la Facultad reinició sus labores en el edificio que ocupó durante muchos años, frente al parque Morazán; hasta 1930 únicamente ofrecía la carrera de ingeniero topógrafo.

En 1930 se reestructuraron los estudios y se restableció la carrera de ingeniería civil. Este hecho marcó el inicio de la época "moderna" de esta Facultad. Gracias al interés de profesores y alumnos, en 1935 se impulsaron otras reformas que elevaron el nivel académico y la categoría del currículo. El nuevo plan incluía conocimientos de física, termodinámica, química, mecánica y electricidad; que en resumen, constituían los conocimientos fundamentales para afrontar las necesidades de desarrollo de Guatemala en el momento en que se daba el primer impulso a la construcción moderna y a la industria.

En año 1944 sobresale por el reconocimiento de la autonomía universitaria y la asignación de recursos financieros del presupuesto nacional, fijados por la Constitución de la República. A partir de entonces, la Facultad de Ingeniería se independizó de las instituciones gubernamentales y se integró al régimen autónomo estrictamente universitario. Este desarrollo de la Facultad dio lugar a un incremento progresivo de la población estudiantil; por ello fue necesario su

traslado. En 1947, la Facultad ofrecía solamente la carrera de ingeniería civil; en ese año los planes de estudios se cambiaron al régimen semestral en el que, en lugar de seis años, se establecieron doce semestres para la carrera.

La Escuela Técnica de la Facultad de Ingeniería se fundó en 1951 con el fin de capacitar y ampliar los conocimientos de los operarios de la construcción. Cuando el Instituto Técnico Vocacional incluyó esta labor en sus programas, la Escuela Técnica, para evitar duplicidad de esfuerzos, orientó sus actividades hacia otros campos, siempre dentro del área de la ingeniería, en cumplimiento de las funciones de extensión universitaria que le son propias.

En 1953 en la Facultad de Ingeniería se creó la carrera de ingeniero arquitecto, paso que condujo a la creación de la Facultad de Arquitectura. En 1959 se creó el Centro de Investigaciones de Ingeniería, para fomentar y coordinar la investigación científica con participación de varias instituciones públicas y privadas.

En 1965 entró en funcionamiento el Centro de Cálculo Electrónico, dotado de computadoras y del equipo periférico para prestar servicio a catedráticos, investigadores y alumnos, quienes dispusieron de instrumentos para el estudio y aplicación de los métodos modernos de procesamiento de la información. Esto constituyó un logro importante a escala nacional y regional.

En 1966 en la Facultad de Ingeniería se estableció el primer programa regional (centroamericano) de estudios de posgrado, mediante la creación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y la maestría en ingeniería sanitaria. Estos estudios son reconocidos internacionalmente. Después, ese programa se amplió con la maestría en recursos hidráulicos. La Escuela de Ingeniería Química, que desde 1939 funcionaba en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en 1967 se integró a la Facultad de Ingeniería, en ese año también se creó la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial que tuvo a su cargo las carreras de ingeniería industrial, ingeniería mecánica y la combinada de ingeniería mecánica industrial. El 8 de enero, el Consejo Superior Universitario en Acta No. 911 punto 5to. Dio lectura al plan de estudios para la carrera del Ingeniero Mecánico Industrial, propuesta por la Facultad de Ingeniería, pidiendo que previo a su aprobación se presentasen estudios relativos a los intereses y necesidades de la misma para el país, así como las implicaciones económicas que su establecimiento traería a la Universidad de San Carlos, nombrando para ello una comisión, en la que, profesionales de Ingeniería Química tuvieron participación.

Fue finalmente hasta 11 de noviembre del año 1967, cuando en Acta No. 966 punto 6to., el Consejo Superior Universitario acordó aprobar la nueva distribución de las carreras de la Facultad de Ingeniería dejando el anexo No. 3 del Acta mencionada, constancia de la aprobación del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial, lo que la constituyó finalmente como la carrera.

La Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica se creó en 1968; a su cargo quedaron las carreras de ingeniería eléctrica y la combinada de ingeniería mecánica eléctrica. En 1970 se creó la carrera de ingeniería en ciencias y sistemas con grado de licenciatura. Al final de la década de 1960 se realizaron estudios para la reestructuración y modernización del plan de estudios de la Facultad. En octubre y noviembre de 1970 la Junta Directiva de la Facultad y el

honorables Consejo Superior Universitario conocieron y aprobaron el nuevo plan. En 1971 se inició la ejecución del Plan de Reestructuración de la Facultad de Ingeniería (Planderest), que impulsaba la formación integral de sus estudiantes para una participación cada vez más efectiva de la ingeniería en el desarrollo del país. El Plan incluía la aplicación de un *pensum* flexible que permite la adaptación al avance tecnológico y a las necesidades de desarrollo productivo del país, así como a la vocación de los estudiantes.

En 1974 se fundó la Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado para todas las carreras de la Facultad de Ingeniería. En 1975 se crearon los estudios de posgrado en ingeniería de recursos hidráulicos; con tres opciones: calidad del agua, hidrología e hidráulica.

Las licenciaturas en matemática aplicada y física aplicada se crearon en el periodo de 1976 a 1980, mediante la creación de la Escuela de Ciencias, que atiende la etapa básica común para las diferentes carreras de ingeniería. En 1984 se creó el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) que inició sus actividades con un programa de estudios de hidrocarburos y varios cursos sobre exploración y explotación minera, geotecnia, pequeñas centrales hidroeléctricas e investigación geotérmica; contó con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas.

Con el fin de mejorar su administración docente, en 1986, la carrera de ingeniería mecánica se separó de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Debido al avance tecnológico en las ramas de ingeniería eléctrica, en 1989, se creó la carrera de ingeniería electrónica a cargo de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. En 1994 se creó la unidad académica de Servicio de Apoyo al Estudiante (SAE) y de Servicio de Apoyo al Profesor (SAP), conocida por sus siglas SAE-SAP, cuyo fin es prestar apoyo al estudiante por medio de la ejecución de programas de orientación y tutorías en el plano académico, administrativo y social y para facilitar la labor docente y de investigación de los profesores.

En 1995 se expandió la cobertura académica de la Escuela de Postgrados, con los estudios de maestría en sistemas de construcción y en ingeniería vial; logro que permitió, en 1996, la creación de la maestría en sistemas de telecomunicaciones. Durante el período comprendido de 2001 a 2005 se iniciaron las maestrías de ciencias de ingeniería vial, gestión industrial, desarrollo municipal y mantenimiento industrial. Y en 2007 se creó la carrera de ingeniería ambiental, con grado de licenciatura.

En los años siguientes se establecieron convenios con universidades europeas como la de Cádiz, de Almería y la Tecnológica de Madrid; con la norteamericana Florida International University, para la realización de intercambios estudiantiles. En ese año concluyó el proceso que le otorgó la acreditación a la carrera de ingeniería química. Además, en ese período se inició el proceso en busca de la acreditación de la carrera de ingeniería civil.²⁴

²⁴

USAC. Facultad de Ingeniería.
<https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/index.php/aspirante/antecedentes>. Consulta: febrero de 2016.

1.4.2. Misión

“Formar profesionales en las distintas áreas de la Ingeniería que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología, conscientes de la realidad nacional y regional, y comprometidos con nuestras sociedades, sean capaces de generar soluciones que se adapten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos del contexto global”.²⁵

1.4.3. Visión

“Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional; formamos profesionales en las distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional”.²⁶

1.4.4. Objetivos

1.4.4.1. Objetivo general

“Formar el recurso humano dentro del área técnico-científica que necesita el desarrollo de Guatemala, dentro del ambiente físico, natural, social, económico, antropológico y cultural del medio que lo rodea”.²⁷

²⁵ *Misión y visión de la USAC*. <https://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: febrero de 2016.

²⁶ *Ibíd.*

²⁷ Centro de Cálculo e Investigación Educativa. *Facultad de Ingeniería – USAC*. Consulta: 27 de noviembre de 2018.

1.4.4.2. Objetivos específicos

- Proporcionar al estudiantado de la Facultad de Ingeniería las oportunidades para obtener una formación técnico-científica, para su aplicación al medio laboral y adaptación a la tecnología moderna.
- Fomentar la investigación científica y el desarrollo de la tecnología y ciencias entre los estudiantes y catedráticos de la Facultad de Ingeniería, con proyección y como resarcimiento para el pueblo de Guatemala.
- Fortalecer las relaciones con los sectores externos del país, que se vinculan con las diversas ramas de la ingeniería y contribuir a satisfacer sus necesidades, lo cual generará el beneficio mutuo.²⁸

1.4.5. Estrategia académicas

- Estructurar una programación adecuada que cubra el conocimiento teórico y la aplicación de las disciplinas básicas de la ingeniería.
- Utilizar métodos de enseñanza-aprendizaje que estén en consonancia con el avance acelerado de la ciencia y la tecnología.
- Proporcionar al estudiantado la experiencia práctica de las situaciones problemáticas que encontrará en el ejercicio de su profesión. Capacitar a los profesionales para su autoeducación luego de que egresen de las aulas.²⁹

1.4.6. Estructura organizacional

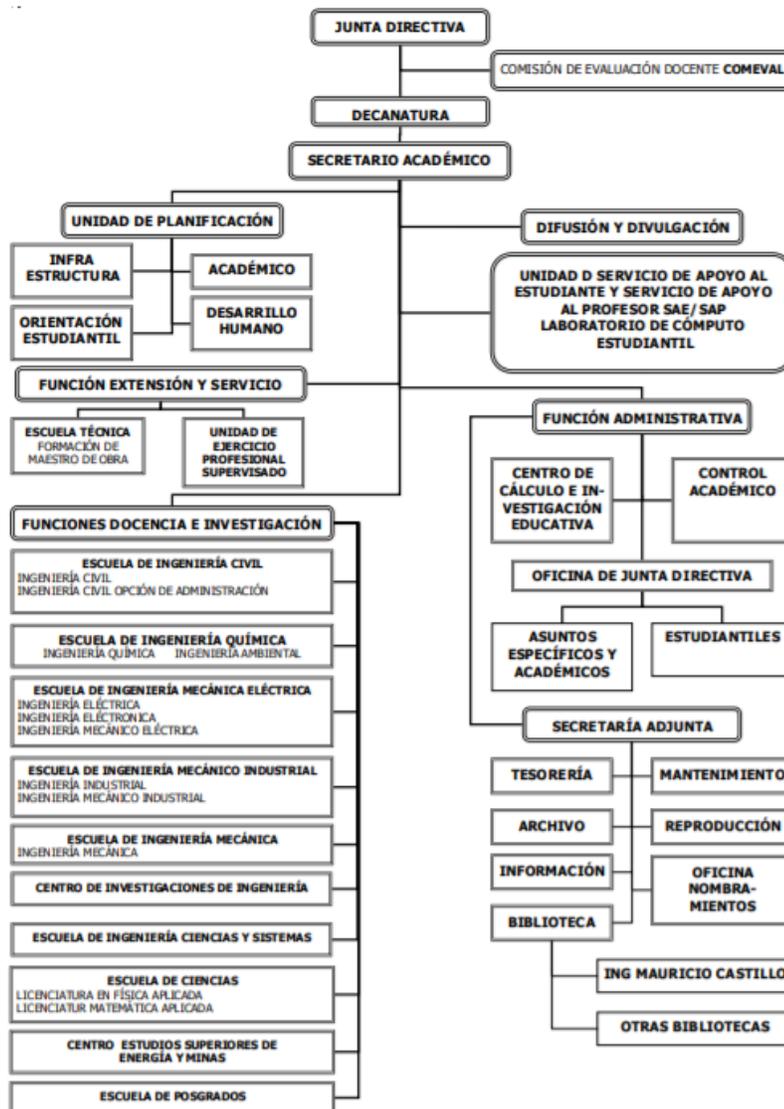
- Decano
- Vocal I
- Vocal II
- Vocal III
- Vocal IV
- Vocal V
- Secretario Académico

²⁸ Centro de Cálculo e Investigación Educativa. *Facultad de Ingeniería – USAC*. Consulta: 27 de noviembre de 2018.

²⁹ *Ibíd.*

El organigrama de la Facultad de Ingeniería se muestra en la figura siguiente:

Figura 3. Organigrama



Fuente: ESTRADA CASTILLO, Karla Waleska. *Normativo disciplinario de estudiantes, personal administrativo y docentes de la Facultad de Ingeniería de la USAC*. Consulta: diciembre de 2017.

La Facultad de Ingeniería está organizada en:

- Escuelas facultativas
- Centros
- Departamentos
- Unidades académico-administrativas

También integran la Facultad de Ingeniería:

- Centro de Investigación de Ingeniería (CII)
- Centro de Cálculo de Investigación Educativa
- Biblioteca de Ing. Mauricio Castillo
- Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado
- Unidad de Servicio de Apoyo al Estudiante y de Apoyo al Profesor
- SAE-SAP

Asimismo, las unidades administrativas de apoyo a la función docente y de investigación que dependen de la secretaría académica y las unidades de administración general.³⁰

1.4.7. Situación actual

La mayor parte de la comunidad científica y un número creciente de grupos sociales, empresariales y políticos de los más diversos países han aceptado las evidencias de que el cambio climático es originado por las actividades humanas, llegando a la conclusión de que este constituye uno de los mayores desafíos ambientales que se pudieran interponer en el camino

³⁰ Centro de Cálculo e Investigación Educativa. *Facultad de Ingeniería – USAC*. Consulta: 27 de noviembre de 2018.

hacia el desarrollo sustentable en el presente siglo. Así también, es ampliamente reconocido que la causa de dicho fenómeno se encontraría en las altas concentraciones atmosféricas de Gases Efecto Invernadero, los cuales serían responsables del aumento de la temperatura global del planeta (IPCC, 2007). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático con sede en Ginebra-Suiza ha indicado que el riesgo del cambio climático es severo.

El cambio global ha sido producto de la capacidad técnica que tiene el ser humano hoy en día de cambiar radicalmente el ambiente que lo rodea. La globalización ha incrementado de manera potencial la velocidad con la que se desarrollan las actividades. El Internet, el transporte y las telecomunicaciones son cada vez más funcionales. Esto ha permitido, entre otras cosas, no solo en la Facultad de Ingeniería si no que en todo el mundo, un aumento significativo en los patrones de consumo.

Existen dos fuerzas que propician el cambio global: la explosión demográfica y el incremento incesante en la demanda de bienes y servicios.³¹ La explosión demográfica está causando una presión sin precedentes sobre los suelos, el agua, los bosques y los recursos marinos. Malthus (1766 – 1834) expresó que la población crece en una progresión geométrica y que los recursos alimenticios crecen en una progresión aritmética. Las proyecciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático³² (IPCC, por sus siglas en inglés) establecen que habrá más de 2000 millones de personas habitando el planeta para el año 2020, 95 % de esta población estará en países subdesarrollados, 50 % vivirá en ciudades, lo que conllevará un incremento de

³¹ RISCHARD, John. *20 Global Problems, 20 Years To Solve Them*. p. 50.

³² Fue establecido por primera vez en 1988 por dos organizaciones de Naciones Unidas, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y posteriormente ratificada por la Asamblea General de las Naciones Unidas mediante la Resolución 43/53.

40 % en la demanda de alimentos y consumo de agua, y para el 2050 se predice que el agua y los alimentos escasearían extremadamente haciendo que el precio de adquisición de los mismos se incremente exponencialmente.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, no se ha hecho llegar de manera correcta a la población que la integra la gravedad del problema que se vive hoy en día, no solo en Guatemala sino también en los grandes países desarrollados de todo el mundo. La Facultad de Ingeniería debe crear y promover campañas de conciencia ecológica, no solo a estudiantes sino también a la población universitaria, profesores, trabajadores e inclusive aspirantes a esta facultad.

No se tiene información actualizada sobre el cambio climático: qué lo causa, la huella de carbono o el balance de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, por lo que es sumamente importante la generación y sistematización de esta información a toda la población de la Facultad de Ingeniería para promover campañas de conciencia ambiental y dar un nuevo enfoque y un nuevo quehacer institucional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Efecto invernadero

El efecto invernadero es un proceso que ocurre de forma natural, en este proceso la emisión de radiación infrarroja por la atmósfera calienta la superficie del planeta. La atmósfera actúa naturalmente como una manta de aislamiento, atrapando la energía solar suficiente para mantener la temperatura media global en una gama confortable para mantener la vida. Esta manta aislante es en realidad una colección de varios gases atmosféricos (conocidos como gases de efecto invernadero), algunos de ellos se encuentran en pequeñas cantidades, por lo que se conocen como gases traza.³³

De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala mundial un efecto similar al observado en un invernadero.

2.1.1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro

³³ CASPER, Jorge. *Un gas traza es un gas presente en baja cantidad en una mezcla, exactamente, menos de 1% por volumen de la atmósfera de la Tierra, e incluye todos los gases excepto nitrógeno y oxígeno.* p. 29.

de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además existe en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual es eminentemente térmica) que proviene del sol y refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático. El clima debe de algún modo ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que generan un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la tropósfera), en orden a mantener el balance energético de la misma.³⁴

Este ajuste generará un cambio climático que se manifestará en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) que generará un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña), y se presentará una variedad de impactos sobre diferentes componentes, tales como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud humana, entre otros.

³⁴ Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Causas del cambio climático*. <https://geoinnova.org/blog-territorio>. Consulta: 30 de noviembre de 2018.

2.1.1.1. Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 partes por millón. Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno. El balance del dióxido de carbono es sumamente complejo por las interacciones que existen entre la reserva atmosférica de este gas, las plantas que lo consumen en el proceso de fotosíntesis y el transferido desde la tropósfera a los océanos.³⁵

El aumento del contenido de dióxido de carbono que se verifica actualmente es un componente del cambio climático global, y posiblemente el mejor documentado. Desde mediados del siglo XIX hasta hoy el aumento ha sido de 80 ppm.

El análisis de gases retenidos en muestras de hielo obtenidas a distintas profundidades en Antártida y Groenlandia, ha permitido conocer la concentración de dióxido de carbono atmosférico, y de otros gases del llamado efecto invernadero, durante por lo menos los últimos 150 000 años.

Estas concentraciones han variado en la escala temporal de las glaciaciones, con concentraciones bajas durante los períodos glaciales (temperaturas bajas) y relativamente altas durante los períodos interglaciales (temperaturas altas), con transiciones rápidas tanto en la variación de la temperatura como de la concentración de dióxido de carbono. Se ha discutido si este aumento del contenido de dióxido de carbono atmosférico corresponde o no a estas fluctuaciones naturales, dado que ahora se transita por un período

³⁵- RAYNAUD, D.; et al. *The ice core record of greenhouse gases*. Science, 1993. p. 25.

posglacial. A partir de la misma fuente de información, las burbujas de gas retenidas en hielos de diferentes edades, se ha comprobado que el actual incremento de la concentración de dióxido de carbono se superpone a la variación esperada del mismo y los niveles alcanzados superan a los registrados en el pasado, siendo el aumento sustancial y acelerado durante los últimos 160 años e indudablemente causado por la actividad humana.

Se estima que este aumento es causado por una concurrencia de factores, entre los cuales el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados del gas) y las quemas con fines agrícolas pueden señalarse como los más significativos. Se calcula que este aumento del nivel de dióxido de carbono ocasiona cambios climáticos considerables.

2.1.1.2. Metano (CH₄)

El metano es el hidrocarburo más simple, su molécula está formada por un átomo de carbono (C), al que se encuentran unidos cuatro átomos de hidrógeno (H). A temperatura ambiente es un gas y se halla presente en la atmósfera.

El metano tiene aplicación en la industria química como materia prima para la elaboración de múltiples productos sintéticos. En los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala, generándolo a partir de residuos orgánicos agrícolas.³⁶

La concentración de metano en la atmósfera ha sufrido en el último siglo un incremento importante y sostenido (aproximadamente 1 % por año), gran parte del cual tiene su origen en actividades humanas.

³⁶ DOMENECH, X. *Química ambiental*. Ediciones Miraguano, Madrid, 1994. p. 63.

Sus propiedades físicas y químicas y su presencia en la atmósfera lo incluyen dentro del grupo de GEI, ocupando el tercer lugar, detrás del dióxido de carbono y de los CFC, y contribuyendo en un 15 % al calentamiento global. Se ha observado, además, según Daniel Melendi, que el metano deteriora la capacidad autolimpiante de la atmósfera.

2.1.1.3. Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso (N₂O), otro de los gases de efecto invernadero, es producido por procesos biológicos en océanos y suelos, también por procesos antropogénicos que incluyen combustión industrial, gases de escape de vehículos de combustión interna.³⁷

El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero con una capacidad de retención de calor a largo plazo 300 veces mayor que el bióxido de carbono. La principal actividad humana que genera emisiones de este gas a la atmósfera es la agricultura, pues la aplicación de fertilizantes químicos nitrogenados libera, entre otras cosas, este gas, el cual se acumula en la atmósfera, mantos freáticos y en la tierra.

La agricultura intensiva ha causado la esterilidad de los suelos, donde el nitrógeno natural del suelo ya no está disponible para las plantas, por lo que para asegurar la productividad de los cultivos se agregan grandes cantidades de fertilizantes químicos, los cuales estimulan microbios en el suelo que convierten el nitrógeno en el dañino óxido nitroso.

³⁷ *Sobre el óxido nitroso.* http://www.rmm.cl / sites / default/ files/ usuarios/ mmora/ doc/ 200812181558370.Cambios_climaticos_en_la_Tierra.doc. Consulta: abril de 2016.

2.1.1.4. Hidrofluorocarbonos (HFCs)

Compuestos que solo contienen hidrógeno, flúor y átomos de carbono. Los HFCs son emitidos como subproducto de procesos industriales y son utilizados en la manufactura. Los HFCs no reducen considerablemente la capa de ozono estratosférico, pero son gases de efecto invernadero potentes con valores de potencial de calentamiento global.³⁸

2.1.1.5. Perfluorocarbonos (PFCs)

Un grupo de sustancias químicas hechas por el hombre, compuestas solo de carbono y flúor. Los PFCs son emitidos como subproductos de procesos industriales y son utilizados en la manufactura. Estos son gases de efecto invernadero potentes.

2.1.1.6. Hexafluoruro de azufre

El hexafluoruro de azufre es un gas inerte, más pesado que el aire, no es tóxico ni inflamable, pero es asfixiante y posee un color y olor característicos. Se produce por reacción directa a unos 300 ° C de azufre fundido y el flúor gaseoso. Es estable en condiciones normales y al exponerlo a elevadas temperaturas se descompone, dando lugar a productos tóxicos que pueden ser corrosivos en presencia de humedad.

Una de las principales características es su elevada constante dieléctrica, por lo que es muy empleado como gas aislante en equipos para distribución de energía eléctrica.

³⁸ El País. *Un invernadero llamado Tierra*. p. 65.

El principal problema medioambiental que concierne al hexafluoruro de azufre es que, una vez liberado, es un agente intensificador del efecto invernadero, teniendo un potencial de calentamiento global y un tiempo de vida en la atmósfera muy elevado.

2.1.1.7. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas sin olor ni color pero muy peligroso. Puede causar una enfermedad e incluso la muerte. Se produce cuando un combustible como el carbón, la leña, el gas o la gasolina se queman de manera inadecuada.

La tabla que se presenta a continuación detalla los GEI, las fuentes de emisión y las actividades que los producen y causan:

Tabla I. **Gases de Efecto Invernadero, fuentes y actividades que los producen**

Gas de Efecto Invernadero	Fuente	Actividad
Dióxido de carbono (CO₂)	Quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural)	Transporte y generación térmica
	Deforestación	Forestal
	Cambio de uso del suelo	Agricultura
	Quema de bosques	Incendios forestales
	Transporte y generación térmica	
	Forestal	
	Agricultura	
	Incendios forestales	
Metano (CH₄)	Botaderos de basura	Descomposición de desechos orgánicos
	Excrementos de animales y humanos	Ganadera
	Gas natural	Petrolera
	Descomposición de desechos orgánicos	
	Ganadera	
	Petrolera	

Continuación de la tabla I.

Óxido nitroso (N₂O)	Combustión de automóviles	Transporte
	Fertilizantes	Agricultura
	Alimento de ganado	Industrias
	Fertilización nitrogenada	Quema de desechos sólidos
	Estiércol	
	Desechos sólidos	
Carburos hidrofluorados (HFC) y	Sistemas de refrigeración	Industria de refrigeración
Carbonos perfluorados (PFC)	Industria de refrigeración	
Clorofluorocarbonos (CFC)	Sistemas de refrigeración	Sector industrial
	Plástica	
	Aerosoles	
	Electrónica	
Hexafluoruro de azufre (SF₆)	Sector Industrial	
	Aislante, eléctrico y estabilizante	Sistema interconectado de redes eléctricas
	Interruptores eléctricos	Extintores de incendios
	Transformadores	
	Sistema interconectado de redes eléctricas	
Monóxido de carbono (CO)	Extintores de incendios	
	Cualquier combustible fósil	Transporte
	Automóviles	Aparatos de cocción
	Parrillas	Generadores de gasolina
	Cocinas	
	Chimeneas	

Fuente: *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.*

<http://www.marn.gob.gt/Multimedios/2562.pdf>. Consulta: 16 de enero de 2016.

2.2. Calentamiento global

El calentamiento global es un fenómeno que se causa cuando hay demasiados Gases de Efecto Invernadero en el atmósfera. El efecto invernadero es un proceso natural que atrapa algunos de los rayos del sol que entran en la atmósfera para regular la temperatura de la Tierra. Algunos son atrapados por los GEI que están en la atmósfera naturalmente y el resto va al espacio. Pero cuando hay demasiados GEI, más rayos quedan atrapados en la atmósfera y por eso la Tierra se calienta y la temperatura se eleva

automáticamente. Este es el fenómeno del calentamiento global que aumenta principalmente la temperatura de los océanos. En los últimos 50 años, la temperatura promedio ha aumentado más rápido que algunos períodos en la historia. Los científicos dicen que es posible que la temperatura pueda subir 3 a 9 grados antes del fin de este siglo si no se hace algo para arreglarlo.

2.3. Cambio climático

La evidencia científica del cambio climático es indiscutible, esto según lo planteado por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), organización internacional líder sobre el tema del cambio climático. O como lo plantea la EPA (Agencia de Protección del Ambiente de EE.UU.): “el cambio climático está sucediendo” y “la evidencia es clara”.

El cambio climático es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en períodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese promedio (por ejemplo más o menos eventos climáticos extremos). El cambio climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarcar toda la superficie terrestre.³⁹

El término a veces se refiere específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, a diferencia de aquellos causados por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. En este sentido, especialmente en el contexto de la política ambiental, el término cambio climático ha llegado a ser sinónimo de calentamiento global antropogénico, o

³⁹ Centro EULA-Chile. *Tópicos de ciencias ambientales del primer semestre del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales*. 1997. Consulta: 2018.

sea un aumento de las temperaturas por acción de los humanos. En las revistas científicas, calentamiento global se refiere a aumentos de temperaturas superficiales, mientras que cambio climático incluye al calentamiento global y todos los otros aspectos sobre los que influye un aumento de los GEI.

La evidencia se basa en observaciones de los aumentos de temperatura del aire y de los océanos, el derretimiento de hielos y glaciares en todo el mundo, así como el aumento de los niveles del mar a nivel mundial y otras señales claras de cambio.

Hechos indiscutibles:

- Aumento de las temperaturas a nivel mundial, 11 de los últimos 12 años han sido de los años más calurosos que se tienen en registro desde 1850. El incremento de temperatura promedio en los últimos 50 años es casi el doble del de los últimos 100 años. La temperatura global promedio aumentó 0,74°C durante el siglo XX.
- Hay más CO₂ en la atmósfera, el dióxido de carbono es el contribuyente principal y dominante al cambio climático actual y su concentración atmosférica ha aumentado desde un valor de 278 partes por millón (ppm), en la era preindustrial, hasta 397 ppm en la actualidad.

Los científicos mundiales han determinado que el aumento de la temperatura global debería limitarse a dos grados centígrados para evitar daños irreversibles al planeta y posteriores efectos desastrosos sobre la sociedad humana. Para lograr evitar este cambio irreversible y sus efectos, las emisiones de GEI deberían alcanzar su máximo en el 2015 y disminuir progresivamente después de esa fecha, hasta alcanzar una disminución del 50 % para el año

2050. Si se ven las gráficas del CO₂ atmosférico se notará que no hay una disminución sino lo contrario, un aumento del nivel.

2.3.1. Variabilidad climática

De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la variabilidad climática está relacionada con las variaciones del estado promedio del clima en escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a procesos influenciados por fuerzas externas naturales o antropogénicas (variabilidad externa). Actualmente, las distintas variabilidades climáticas (diaria, mensual, estacional, anual (por ejemplo las de épocas seca y lluviosa, interanual, etc.)) ya representan unas amenazas frente a las cuales hay que adaptarse, y la mitigación de estas amenazas es uno de los objetivos fundamentales de la gestión del riesgo.

2.3.2. Variabilidad de la temperatura

La temperatura se puede identificar como la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos. Aunque el concepto más común de temperatura es el resultado directo de una sensación, en efecto, cuando se toca un cuerpo se dice que está caliente o frío, según la sensación que se experimente en ese momento. Las escalas prácticas de temperatura están basadas en dos puntos fijos que corresponden a temperaturas corrientes que pueden reproducirse fácilmente. Los dos puntos fijos reconocidos internacionalmente son los siguientes:

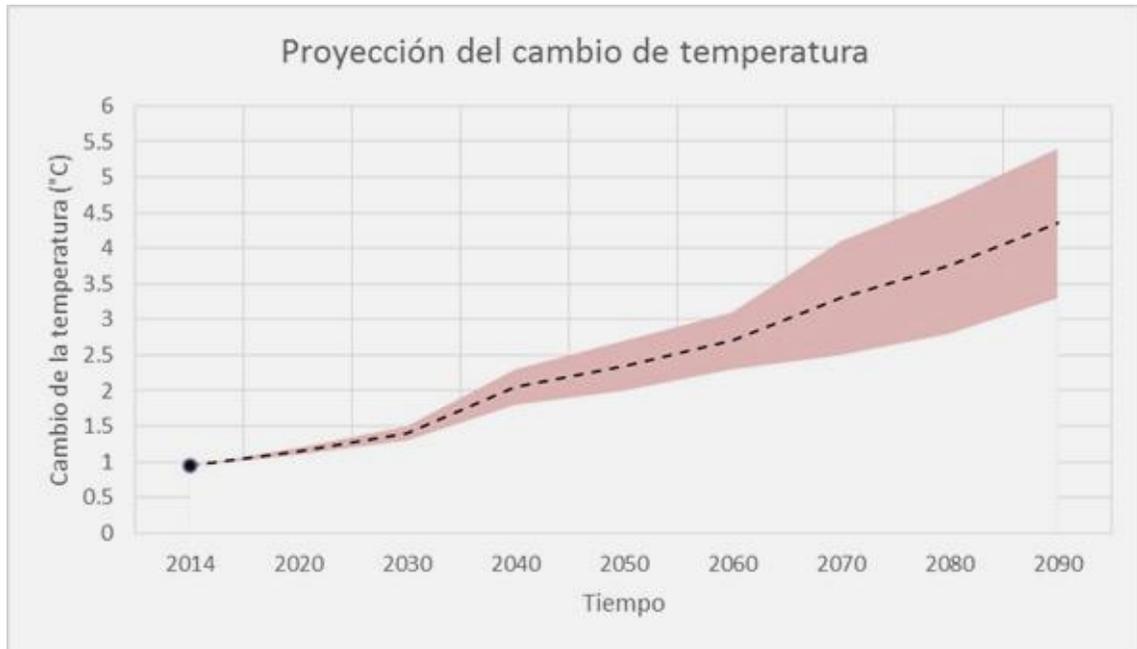
- Punto de fusión del hielo: temperatura a la cual el hielo puro funde cuando la presión externa es igual a una atmósfera normal.
- Punto de ebullición del agua: temperatura a la cual el agua pura hierve cuando la presión externa es igual a una atmósfera normal.

En los últimos 14 años, la temperatura media anual se ha comportado con un aumento a nivel nacional; los cambios más fuertes se han registrado en las regiones de Occidente y Franja Transversal, con un incremento de 0,96 a 1,4 °C, mientras las regiones de Meseta Central, Oriente, Costa Sur y Boca Costa han registrado cambios entre 0,71 y 0,96 °C, y para el Norte y Caribe los cambios han sido entre 0,5 a 0,70 °C.

Las proyecciones de temperatura futuras presentan una tendencia creciente. En los últimos 14 años el incremento de temperatura a nivel nacional ha sido de 0,94 °C, comparado con el período base (1971-2000). Las tendencias muestran cambios de temperatura de 1,1 y 1,2 °C para la década del 2020, 1,3 y 1,5°C para la década de 2030, entre 2 y 2,7 °C para la década de 2050, entre 2,5 y 4,1 °C para la década de 2070 y entre 3,3 y 5,4 °C.

La figura siguiente muestra una proyección del aumento de temperatura que se dará en las siguientes décadas:

Figura 4. **Proyección del cambio de temperatura**



Fuente: *Cambio de temperatura*. http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1721, escenarios de cambios climáticos. Consulta: 29 de noviembre de 2017.

2.4. **Impacto ambiental**

El impacto ambiental es el efecto causado por una actividad humana sobre el medio ambiente. La ecología, que estudia la relación entre los seres vivos y su ambiente, se encarga de medir dicho impacto y de tratar de minimizarlo.

El concepto de impacto ambiental podría utilizarse para hacer mención de las consecuencias de un fenómeno natural (como un tsunami o un terremoto), aunque dicha aceptación es poco frecuente. Lo habitual es que la noción se use para nombrar a los efectos colaterales que implica una cierta explotación

económica sobre la naturaleza.⁴⁰ Esto quiere decir que una empresa puede crear puestos de empleo y resultar muy rentable desde el punto de vista económico, pero a la vez destruir el medio ambiente de las zonas aledañas de su fábrica. El impacto ambiental, por lo tanto, puede tener consecuencias sobre la salud de la población, la calidad del aire y la belleza paisajística.

Además de todo lo expuesto se hace necesario establecer que, de forma habitual, se realiza una clasificación del impacto ambiental con base en el tiempo que dura su efecto en un lugar determinado. Así, tomando ese criterio se pueden establecer cuatro tipos diferentes de impacto:

- Persistente. En este grupo se encuentran los que tienen una influencia a largo plazo.
- Temporal. Como su propio nombre indica, es la clase de impacto ambiental que realmente no crea unas consecuencias grandes, lo que supone, por tanto, que el medio se pueda recuperar de manera relativamente rápida.
- Reversible. A consecuencia del mencionado impacto, el medio se puede recuperar de los daños sufridos, en un tiempo más o menos corto, pero puede ocurrir que quizás no llegue a estar del todo como se encontraba anteriormente a que tuvieron lugar los hechos.
- Irreversible. En este caso, como su nombre indica, es aquel impacto ambiental que tiene tanta trascendencia y gravedad que impide por

⁴⁰ PÉREZ PORTO, Julián; MERINO, María. *Definición de impacto ambiental*. <https://definicion.de/impacto-ambiental/>. Consulta: 14 de febrero de 2016.

completo que un escenario pueda recuperarse de los daños que él ha causado.

2.5. Huella de carbono

El cambio climático comprende relaciones complejas entre procesos (climáticos, ambientales, económicos, políticos, sociales, institucionales, organizacionales y tecnológicos). La respuesta del cambio climático se caracteriza por la adopción de decisiones en condiciones de incertidumbre y riesgo. Esto quiere decir que se desconoce la capacidad que tienen estos ecosistemas de reponerse o de resistir estos cambios.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático es un grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático conformado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el cual ha establecido dos áreas para aminorar los efectos del cambio climático: medidas de adaptación y medidas de mitigación.

Por mitigación se entiende una intervención antropogénica para reducir fuentes de GEI o aumentar los sumideros. Las medidas de mitigación están enfocadas en la disminución de emisiones relacionadas a la caracterización socioeconómica y tecnológica y del nivel deseado de estabilización de concentración de GEI en la atmósfera (IPCC, 2001).

La reacción internacional más concreta a raíz de las consecuencias previsibles del cambio climático es el Protocolo de Kyoto (PK). El PK es la primera acción bajo un marco institucional de un compromiso voluntario, en el cual los países firmantes del protocolo se comprometen a disminuir sus

emisiones totales de gases de efecto invernadero, expresadas en dióxido de carbono equivalentes, a un nivel inferior en no menos al 5 % de 1990 en el período de compromiso 2008 – 2012 (Naciones Unidas, 1998). Esta medida, a vista de la comunidad internacional, ha sido considerada como insuficiente.

A finales del año 2007 se realizaron en la ciudad de Bali –Indonesia– las negociaciones de la segunda fase del PK, en las cuales se reconoció por todas las naciones asistentes, incluidos los Estados Unidos, la necesidad de carácter urgente de reducir y mitigar drásticamente las emisiones de GEI. Respecto a los lineamientos de mitigación se acordó lo siguiente:

- Medir, reportar y verificar apropiadamente los acuerdos o acciones de mitigación, incluida la cuantificación de emisiones y los objetivos de estabilización y reducción para todos los países en vías de desarrollo, tomando en cuenta las diferentes circunstancias nacionales de cada país.
- Acciones de mitigación en el contexto del desarrollo sostenible a través de aplicación de tecnologías y financiamiento de manera medible, reportable y verificable.
- Un enfoque de políticas e incentivos relacionados a la reducción de emisiones, proveniente de la deforestación y degradación de los bosques, realizando el rol de la conservación y el manejo sostenible de los bosques respecto al almacenamiento de carbono en países en vías de desarrollo.
- Se incluye como un enfoque importante las oportunidades de utilizar el mercado de carbono y medidas con costo efectivo para promover acciones orientadas a la mitigación, considerando las diferentes circunstancias de los países en vías de desarrollo.

- Medir las consecuencias económicas y sociales de la mitigación.
- Fortalecer el rol conductivo de la convención para permitir sinergia entre los sectores públicos, privados y la sociedad civil, con el objetivo de proceder a realizar acciones de mitigación integrales y coherentes.
- Establecer responsabilidades y criterios que permiten aclarar proporcionalmente los impactos en la naturaleza que han generado gran interés científico. Se requieren indicadores globales que sean comprensibles a nivel internacional y que permitan expresar el nivel de impacto generado por las acciones individuales, institucionales o corporativas.
- Tener indicadores fiables, comprensibles y metodológicamente correctos ha sido el desafío de los últimos tiempos. Uno de los términos comúnmente utilizados es la huella ecológica, herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos y asimilación de desechos de una determinada entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales⁴¹.
- Otra herramienta contable es la huella de carbono (HC), la cual constituye casi el 50 % de la huella ecológica y es un concepto originado de la raíz de la huella ecológica, lo que implica que es de gran importancia no solo medirla sino conocerla en todas sus dimensiones, sin embargo, no existe una definición única de huella de carbono.⁴²

⁴¹ Wakernagel, Jhon; et al. *Título del documento en cursiva*. 1990.

⁴² Conferencia de las Partes (CP) N°13. *Plan de acción de Bali*.

Algunas definiciones que se le han dado a la huella de carbono son: comúnmente la huella de carbono se define como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático asociados a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, aunque el espectro de definiciones varía desde un mirada simplista que contempla solo las emisiones directas de CO₂, a otras más complejas, asociadas al ciclo de vida completo de las emisiones de GEI, incluyendo la elaboración de las materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes.

La huella de carbono expresa que para cada unidad de consumo de material energético se requiere una cantidad de cobertura vegetal, suelos y área oceánica, pertenecientes a una categoría de los ecosistemas que proporcionan los flujos necesarios para la absorción de emisiones de GEI o dióxido de carbono equivalente, medidos en hectáreas bioproductivas globales.

La huella de carbono son las emisiones directas e indirectas de CO₂ causadas por acciones comerciales. Es una medida del impacto de las actividades humanas en el medio ambiente en términos de la cantidad de emisiones de GEI medidos en toneladas de CO₂.

La huella de carbono es la cantidad total de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, emitidos a través del ciclo de vida de un producto o proceso. Esto expresado como gramos de CO₂ equivalente por KWh (gCO₂e/KWh). Todas las definiciones exponen al CO₂ como el principal eje de análisis, sin embargo la gran diferencia es incluir el resto de gases de efecto invernadero. Para la finalidad de este estudio se utilizó la siguiente definición: el total de gases de efecto invernadero causados directamente o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto expresado en toneladas de CO₂ equivalente.

Así se abarca la finalidad de este estudio en función del quehacer de la Facultad y su dinámica de GEI.

La preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático ha motivado a las organizaciones e instituciones a tomar medidas para conocer a fondo la dinámica de los GEI, siendo la huella de carbono uno de los indicadores reconocidos mundialmente para comprender dicha dinámica. La relevancia que implica conocer más sobre el concepto de huella de carbono queda de manifiesto además en las conclusiones propuestas por el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de 2007, que demuestra que las emisiones siguen creciendo aún en un escenario de compromisos de reducciones en el marco del Protocolo de Kyoto, con un evidente liderazgo de los países desarrollados miembros de la OCDE.

El cálculo de la huella de carbono es el primer paso para lograr construir un balance de carbono institucional, el cual determina una combinación deseada de emisiones, que varía en el tiempo y en el espacio, y en el potencial de remoción.

La huella de carbono permite cuantificar la presión sobre los ecosistemas de remoción y almacenamiento de carbono, producto de las actividades antropogénicas en términos de la cantidad de GEI, medido en unidades de dióxido de carbono equivalente. El gas de principal incidencia en el forzamiento radiactivo es el dióxido de carbono (CO_2), por lo cual se establece el concepto de CO_2 equivalente, como la concentración de este gas que causaría el mismo forzamiento radiactivo, medio mundial de la mezcla dada de CO_2 , otros GEI y aerosoles.

Las conclusiones propuestas por el último informe del IPCC10 demuestran la relevancia que implica conocer más sobre el concepto de huella de carbono. Los costos sociales vinculados al calentamiento global sobrepasan el producto interno bruto (PIB) de varios países en desarrollo; aproximadamente se estiman en 0,5 – 1 % del PIB del mundo. La huella de carbono es el primer paso para lograr construir un balance de carbono institucional, el cual determina una combinación deseada de emisiones, que varía en el tiempo, en el espacio y en el potencial de remoción. Un objetivo de estabilización define la cantidad de CO₂ equivalente que se puede emitir desde la fecha actual hasta la fecha que se aspira a lograr la estabilización. Este es uno de los principales costos de la mitigación de la huella de carbono, ya que objetivos de estabilización más bajos requieren de un balance de carbono menor que obliga a un nivel de intervención mayor.

Lo esencial es evaluar las opciones de innovaciones tecnológicas y sociales respecto al manejo y entendimiento de las emisiones de GEI. El comportamiento de las emisiones hace necesario establecer escenarios que implican eficiencia, eficacia, costos, desarrollo sostenible y el aprendizaje social.

Para construir un análisis completo de huella de carbono se requiere:

- Definir la metodología
- Especificar los límites y alcances del análisis
- Colectar la información sobre los datos de emisiones y analizarlos

2.5.1. Metodologías para la estimación de la huella de carbono

A la fecha no se cuenta con un marco metodológico común y uniforme de medición de las emisiones de GEI en forma voluntaria (sin considerar las herramientas aprobadas por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el EU-ETS (European Union Emissions Trading Scheme), que se adaptan a proyectos específicos y responden a criterios y procesos de aprobación propios de estas estructuras internacionales vinculadas con el Protocolo de Kyoto. Por otra parte, y como consecuencia de lo anterior, en los últimos años se han desarrollado un sinnúmero de metodologías para la medición de emisiones de GEI, según tres lógicas de elaboración:

- Paquetes de computación privados elaborados por consultores o las mismas empresas que lo necesitan.
- Herramientas puestas a disposición por organismos no gubernamentales.
- Herramientas elaboradas o apoyadas por organismos estatales.

Es importante precisar que la huella de carbono se puede aplicar a múltiples conceptos, siendo los principales:

- Una empresa u organización
- Un territorio
- Un bien o un servicio
- Un evento
- Una persona

Las metodologías pueden estar especializadas en uno o más de estos conceptos, o cubrir el espectro completo de dichos conceptos. La huella de

carbono se puede medir además en distintas escalas, perímetros o alcances (comúnmente se habla escalas). Se distinguen 3 escalas, tal como se describe a continuación:

- Escala 1: las emisiones directas (que ocurren físicamente en el perímetro analizado), tales como el consumo interno de combustibles y la generación de desechos.
- Escala 2: las emisiones indirectas vinculadas con el consumo de energía (como el consumo de energía provista por redes interconectadas).
- Escala 3: todas las otras emisiones indirectas, como las vinculadas a los proveedores de materias primas, y el uso y su fin de vida de los productos generados.

En la actualidad existen diversas metodologías disponibles en materia de cálculo de huella de carbono. A continuación se ofrece una relación de las herramientas más utilizadas de mayor impacto potencial sobre América Latina, diferenciando entre herramientas para calcular la huella de carbono en organizaciones y en productos:

- PAS 2050
- PAS 2060
- ISO 14067
- Bilan Carbone TM

Organización:

- GHG Protocol

- ISO 14064
- ISO 14069
- Bilan Carbone TM

International Standard Organization (ISO) ha desarrollado y está desarrollando estándares relacionados con la medición de emisiones de GEI. Estos se inspiran, en general, en estándares y metodologías desarrollados previamente, y tienen como objetivo ser un marco reconocido de confianza a los operadores de proyectos de medición de emisiones de GEI. A continuación se detallan los estándares más impactantes del ISO relacionados con la huella de carbono.

ISO 14.06428 e ISO 14.06529: las normas ISO 14.064 e ISO 14.065 tienen como objetivo dar credibilidad y confiabilidad a los reportes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de GEI (en particular en el caso de empresas sometidas a obligaciones de reducciones de emisiones, en el marco del Protocolo de Kyoto, el EU-ETS). Las normas pueden ser usadas por organizaciones que participan en el comercio, en proyectos o mecanismos voluntarios de reducción de emisiones. Se pueden aplicar a todos los tipos de GEI, no estando limitadas al CO₂.

Mientras el ISO 14.064 (implementado en el 2006) se divide en tres partes y se enfoca en la contabilización, reducción y verificación de GEI de empresas y administraciones, el ISO 14.065 (implementado en el 2007) apunta a entregar confiabilidad en los procesos de verificación y validación, definiendo requisitos a las organizaciones que realizan validaciones o verificaciones de emisiones de GEI.

ISO 14.06730: este estándar está actualmente en desarrollo por un equipo técnico liderado por Inglaterra y apunta a la normalización de la huella de carbono de productos. Está inspirado en el PAS 2050 y pretendería reemplazarlo y constituir una referencia a nivel internacional (es una carencia del PAS 2050, ya que en este se inspiran otros países, pero se requiere adaptarlo por no ser posible replicarlo). La publicación de la ISO 14.067 está planeada para marzo del 2011 y cubrirá tanto la evaluación de emisiones de GEI como la comunicación de los resultados.

El Green House Gas Protocol fue implementado en el 2001 mediante la publicación del Corporate Standard Es una iniciativa del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD⁴³) y del World Resources Institutes (WRI). Se plantea como una colaboración multilateral entre empresas, ONG y gobiernos (el GHG Protocol está apoyado por el USAID y el USEPA) que tiene como meta el establecimiento de bases para la contabilización de emisiones de GEI.

El GHG Protocol es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (software) de cálculo de emisiones de GEI. Utiliza una visión intersectorial y contabiliza las emisiones de cualquier sector. 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 de materias primas y su transporte.

⁴³ El WBCSD es una agrupación de 200 compañías internacionales que apuntan al desarrollo sustentable a través del desarrollo económico, del respeto del medio ambiente y de los progresos sociales. <http://www.ghgprotocol.org/aboutghgp/about-wri-and-wbcds>. Consulta: 2018.

GHG Protocol, además de constituirse como referente en términos de lineamientos generales, también ha desarrollado un conjunto de herramientas (software) para el cálculo de la huella de carbono inicialmente de empresas y luego de productos. La popularidad y el reconocimiento del GHG Protocol, y por supuesto el carácter de gratuidad de las aplicaciones, ha concretado el éxito y alta demanda de ellas.

Las aplicaciones del GHG se caracterizan principalmente por:

- Formato: software MS Excel (con guías en formato PDF).
- Función de contabilización de emisiones de GEI: sí.
- Función de recomendación de reducción: poco.
- Función de recomendación de compensación: no.
- Considera otros impactos ambientales: no.
- Gases considerados: 6 principales (Protocolo de Kyoto).
- Escala: sitio (empresa): sí. Territorio: sí.
- Producto: sí.
- Licencia: gratis.
- Transparencia: las guías técnicas explican claramente los procesos y los factores de emisión.

PAS 2050: la norma PAS 2050:2008, Verificación de la Huella de Carbono, es una especificación publicada por British Standards Institution (BSI) en 2008, de aplicación voluntaria. Las organizaciones que reclamen la conformidad del cálculo de la huella de carbono de sus productos conforme a PAS 2050 deben garantizar que el análisis del ciclo de vida de sus productos sea completo, definiéndose el análisis de ciclo de vida como una técnica para evaluar aspectos ambientales y, según el Centro Nacional de Información de la Calidad, los potenciales impactos asociados a un producto (según la Norma

ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia). Así, PAS 2050 diferencia dos tipos de ciclos de vida, en función del tipo de producto:

- Negocio - Negocio, cuando el ciclo de vida considerado del producto finaliza con la entrega del mismo a otra organización para que lo utilice en la elaboración de otro producto.
- Negocio - Consumidor, cuando se considera el ciclo de vida completo del producto, incluidas las actividades posteriores a la entrega del producto al cliente/usuario.

Adicionalmente, requiere que se consideren al menos y de forma no limitante toda una serie de fuentes de emisión tales como: el uso de energías, los procesos de combustión, la reacción química y las pérdidas de gases refrigerantes y otros gases volátiles. Se caracterizan principalmente por:

- Formato: guía PDF.
- Función de contabilización de emisiones de GEI: sí.
- Función de recomendación de reducción: no.
- Función de recomendación de compensación: no.
- Considera otros impactos ambientales: no.
- Gases considerados: todos los gases de efecto invernadero.
- Escala: sitio (empresa): no. Territorio: no. Producto: sí.
- Licencia: gratis.
- Transparencia: en la guía se detallan las fórmulas a emplear. El método no incluye base de datos de factores de emisión (salvo para el cambio de uso de suelo en algunos países): debe justificarse el origen de los factores de emisión utilizados.

La norma PAS 2060:2010, Especificación para la Neutralidad de Carbono, es un estándar publicado por British Standards Institution que permite a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de CO2 son correctas y no se realizan fraudes por parte de las organizaciones. El estándar proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica en un ámbito muy diverso, incluidas las actividades, productos, servicios, edificios, proyectos, etc.

PAS 2060 se aplica a todas las entidades que puedan demostrar que no producen un aumento neto en la emisión de GEI como consecuencia del desarrollo de ciertas actividades. Se caracterizan principalmente por:

- Formato: guía PDF.
- Función de contabilización de emisiones de GEI: sí.
- Función de recomendación de reducción: sí.
- Función de recomendación de compensación: sí.
- Considera otros impactos ambientales: no.
- Gases considerados: todos los gases de efecto invernadero.
- Escala: sitio (empresa): sí. Territorio: sí. Producto: no.
- Licencia: 95 libras esterlinas.
- Transparencia: en la guía se detallan las fórmulas a emplear. El método no incluye base de datos de factores de emisión (salvo para el cambio de uso de suelo en algunos países), debe justificarse el origen de los factores de emisión utilizados.

Bilan Carbone TM: es el método 35 de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés. Sus primeras versiones fueron implementadas en el 2004 y responde a los requisitos de los marcos

metodológicos ISO 14.064 y GHG Protocol. Con el apoyo de subvenciones estatales otorgadas a las entidades que utilizan este método para medir las emisiones de GEI (en Francia) y gracias a su seriedad y transparencia, el Bilan Carbone TM se transformó en la referencia metodológica en este país para las empresas, los particulares (existe una aplicación específica) y las colectividades territoriales. También se expandió, en grado menor, a los países limítrofes.

El Bilan Carbone TM se caracteriza por una visión generalista muy completa, por lo que, a través de sus distintos módulos, permite trabajar a nivel de empresas y eventos pero también de territorios y productos. Esta metodología está basada en un programa en formato Excel, acompañado de guías de utilización. Se caracteriza por disponibilidad de los factores de emisión (en muchos casos determinados por numerosos países en el mundo) y de las fórmulas utilizadas, garantizando transparencia. Si bien la ADEME no vende licencias del Bilan Carbone TM, los usuarios deben seguir una capacitación, cuyo costo es cercano a los 2 000 Euros. Así consiguen el conjunto de herramientas Bilan Carbone TM y pueden realizar análisis bajo este sello. Se caracterizan principalmente por:

- Formato: software MS Excel (con guías en formato PDF).
- Función de contabilización de emisiones de GEI: sí.
- Función de recomendación de reducción: sí.
- Función de recomendación de compensación: no, pero la ADEME elaboró una Carta Magna de compensación para ayudar a los operadores a diseñar sus líneas de compensación de emisiones.
- Considera otros impactos ambientales: no.
- Gases considerados: todos los gases de efecto invernadero.

- Escala: sitio (empresa): sí. Territorio: sí. Producto: sí (existe un módulo dedicado Bilan Produit y varios módulos del Bilan Carbone™ permiten el cálculo de la huella de productos).
- Licencia: gratuito, pero se entregan las aplicaciones a personas que han seguido un proceso de capacitación, el que tiene un costo de entre 1 300 y 2 000 Euros, según los módulos.
- Transparencia: las guías técnicas explican claramente los procesos y las fórmulas y los factores de emisión están disponibles en cada aplicación.
- En Francia se registraron 220 Bilan Carbone™ en el 2007, 1 200 en el 2008 y 1 885 en el 2009, para distintos operadores como empresas, colectividades territoriales y administraciones públicas.
- Estas cifras demuestran la fuerte progresión y predominio de dicha metodología en este país.

2.6. Déficit ecológico

Un déficit ecológico ocurre cuando la huella de una población excede la biocapacidad o capacidad biológica, que se refiere a la capacidad de un área específica biológicamente productiva de generar un abastecimiento regular de recursos renovables y de absorber los desechos resultantes de su consumo. A la inversa, una reserva ecológica existe cuando la biocapacidad de una región excede la huella de su población. Si existe un déficit ecológico regional o nacional, significa que la región está importando biocapacidad a través del comercio o liquidando activos ecológicos. En contraste, el déficit ecológico global no puede ser compensado mediante el comercio, por lo que equivale a sobregiro. Si la huella ecológica es mayor que la capacidad de carga significa que se posee déficit ecológico (la región no es autosuficiente porque consume más recursos de los que dispone) o, por lo contrario, si no la sobrepasa la región es sostenible o autosuficiente.

- Si la huella ecológica < capacidad de carga = la región es autosuficiente.
- Si la huella ecológica > capacidad de carga = la región presenta déficit ecológico.

Los expertos señalan cómo se puede reducir el déficit ecológico, tanto a nivel institucional como individual:

- Reconocer el problema y tomar medidas para ello

Los países tienen que asumir la realidad del déficit ecológico para cambiar su forma de consumo insostenible. Las medidas son muy variadas, siempre con el objetivo de asentar una economía verde, con el uso de tecnologías limpias, la sustitución de energías no renovables por renovables, el replanteamiento de los planes urbanos, la restauración de los recursos naturales y mejora del medio natural, etc.

- Superar los acuerdos sobre cambio climático

Algunos responsables de países en desarrollo han defendido que el principio de la responsabilidad compartida exige que los países ricos vayan más allá de las donaciones o créditos de adaptación y tomen medidas de reparación que reconozcan su déficit ecológico por emisiones excesivas durante varias décadas.

- Asumir un consumo individual responsable

Los consumidores pueden hacer en su vida cotidiana mucho más de lo que creen. El uso sostenible de los productos, de los recursos naturales como el agua o la energía, los alimentos, el transporte, etc., puede marcar la

diferencia si todos los ciudadanos lo asumen a nivel global, en especial en los países con un mayor déficit ecológico.

2.7. Recursos y residuos seleccionados para la estimación de la huella de carbono

La huella de carbono se aplica al cálculo de las emisiones asociadas a las actividades de individuos, poblaciones de un determinado territorio, gobiernos, empresas, instituciones, procesos, sectores industriales, entre otros. Para esta estimación se seleccionó dos factores de mayor relevancia en la Facultad de Ingeniería, los cuales son los residuos sólidos, el agua potable y el CO₂ debido a la cantidad de vehículos que ingresan día a día.

2.7.1. Agua

Es el producto de la combinación de dos átomos: el oxígeno y el hidrógeno y, hasta el momento, es el único elemento capaz de experimentar tres tipos de estado *a priori* incompatibles: líquido (mares, océanos, lagos), gaseoso (en forma de vapor de agua en la atmósfera) y sólido (nieve, hielo).

En su formato más tradicional, el agua, cuando está a temperatura ambiente, es: inodora, insípida, líquida e incolora, salvo en grandes volúmenes como puede ser el caso de los mares y los océanos, en que suele mostrar una coloración azul. Su principal función es la de la conservación de los seres vivos y su hábitat, ya que hasta hoy no existe ninguna forma de vida que pueda sobrevivir sin ella. Al día de hoy existen dos tipos de teorías acerca del origen del agua, contando cada una con una importante cantidad de adeptos. La primera parte de la base que las rocas que conforman el manto terrestre están conformadas por una importante cantidad de agua, cree que tanto el hidrógeno

como el oxígeno son dos compuestos que ya existían en la nube que dio origen al planeta hace ya 4 500 millones de años, el sistema solar lleno de escombros chocó contra el planeta y ahí se unieron estos dos haciendo vapor de agua. Por otro lado, hay una teoría más nueva que supone que en realidad fueron los cometas impactando sobre la tierra los que trajeron uno de los cuatro elementos esenciales.⁴⁴

En orden a la necesidad de agua que tienen los seres vivos para seguir viviendo es que hoy en día el agua se ha convertido en una de las principales preocupaciones de los hombres, en particular en el caso de algunas organizaciones no gubernamentales y de los hombres en grupo, como los gobiernos, ya que el recurrente maltrato al ambiente incluye la contaminación que sufren algunas aguas del mundo y la superpoblación que está experimentando el planeta Tierra. Estos son los dos monstruos a combatir para que los seres vivos de este planeta puedan sobrevivir, porque si la curva ciertamente sigue en el camino en el que está, ese 71 % de agua que cubre la Tierra ya no será suficiente.

En la Facultad de Ingeniería el consumo diario aproximado de agua se detalla en la siguiente tabla:

⁴⁴ UCHA, Florencia. *Agua*. <https://www.definicionabc.com/general/agua.php>. Consulta: 29 de julio de 2016.

Tabla II. **Proyección del consumo de agua diario en la Facultad de Ingeniería**

Población estudiantil	13 368
Muestreo de estudiantes	96
Litros aproximados empleados en servicio sanitario	42
Litros aproximados empleados en lavado (dientes, manos, entre otros).	30
Litros aproximados en filtros (beber)	3,5
Litros aproximados utilizados en usos diversos	18
Total de litros utilizados por estudiante diariamente.	93,5
Cantidad de litros de agua utilizados al día en la Facultad de Ingeniería.	1 249 908

Fuente: elaboración propia

2.7.2. Residuos sólidos

Un residuo es todo aquel material que, luego de haber cumplido su función o de haber servido para una actividad o tarea determinada, es desechado. Este término es generalmente empleado como sinónimo de la palabra basura, que es la palabra más extendida en este idioma para designar todos los desechos que producen los seres humanos en sus actividades cotidianas. Y por su lado, la palabra sólido es un término que se usa para dar cuenta de aquella cosa u objeto que se presenta firme y en lo que se conoce como el estado sólido de la materia, que se caracteriza por el gran estado de cohesión que muestran las moléculas que la componen.

Entonces, los residuos sólidos implican la basura que se halla en estado sólido. Cabe destacar que este tipo de residuo se produce mayormente en las zonas urbanas y suburbanas, siendo los individuos que viven en casas, departamentos y trabajan en locales, oficinas, entre otros, los que producen

este tipo de residuo. Es decir, estos residuos son aquellos que se generan en la actividad cotidiana de las familias, y en las tareas ordinarias de los establecimientos comerciales y empresas. Una botella, una carpeta de madera y un cuaderno son algunos ejemplos de residuos sólidos.

En la Facultad de Ingeniería se producen dos tipos de residuos: orgánicos e inorgánicos, de estos dos únicamente se recicla una parte de los residuos orgánicos, haciendo composta para la utilización en jardines y alguna siembras en la Facultad de Agronomía.

Entre los residuos que se producen a diario en la Facultad de Ingeniería se identificaron los siguientes:

Tabla III. **Residuos sólidos producidos en la Facultad de Ingeniería**

COMPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS OBSERVADOS
ORGÁNICOS	Cáscaras de diversas frutas (naranja, manzana, limón, entre otros)
	Hojas de árboles
	Residuos de jardinería
	Huesos de pollo
	Residuos de comida
	Servilletas
	Papel
	Papel higiénico
INORGÁNICOS	Vajillas de duroport (vasos, platos, bandejas, empaques, entre otros)
	Cubiertos plásticos
	Plásticos de diferentes usos
	Botellas de plástico
	Latas de aluminio
	Bolsas plásticas
	Envolturas de aluminio y plásticas
	Botellas de vidrio
	Servilletas
	Ganchos y clips de aluminio
	Baterías AAA y AA
	Cables eléctricos
	Hierros

Fuente: elaboración propia.

En esta tabla se puede observar que la cantidad de residuos inorgánicos es mayor a la cantidad de residuos orgánicos, esto indica que los residuos sólidos producidos en la Facultad de Ingeniería tienden a ser más contaminantes y poco amigables para el medio ambiente.

Por medio de un estudio de 15 personas de la Facultad de Ingeniería, se obtuvo una medición promedio de la cantidad de residuos que se produce por cada miembro. La mayoría acumuló durante su jornada varios envoltorios plásticos de golosinas y alimentos, latas y botellas plásticas.

En la tabla siguiente se detalla la cantidad promedio que cada estudiante o miembro acumula diariamente, así mismo una proyección sobre la cantidad diaria de residuos sólidos que se generan en la Facultad:

Tabla IV. **Proyección de residuos sólidos producidos en un día**

ESTUDIANTE	CANTIDAD DE RESIDUOS EN KILOGRAMO
1	0,34
2	0,23
3	0,68
4	1,36
5	0,25
6	0,55
7	0,20
8	0,68
9	0,29
10	0,20
11	0,54
12	1,00
13	0,27
14	1,19
15	0,68
TOTAL	8,48
PROMEDIO	1,06
CANTIDAD DE ESTUDIANTES	13 368
CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS DIARIOS	14 166,28

Fuente: elaboración propia.

2.7.3. Gases no condensables

Los gases no condensables más comunes en el aire que respiran los seres humanos son el nitrógeno, argón y quizás el dióxido de carbono. Estos gases tienen puntos de ebullición tan bajos que para cualquier condición de trabajo permanecerán en forma de gas.

Derivado de la actividad humana, una gran cantidad de gases han sido emitidos a la atmósfera, entre estos los gases no condensables, lo que ha cambiado ligeramente la composición de la misma. Como ejemplo se puede mencionar que la concentración de varios de los GEI ha aumentado.

El cambio climático ocurre por una exacerbada acción del efecto invernadero, resultado del incremento de las concentraciones de los GEI, es decir, de la cantidad y variedad de algunos de los gases que la componen. El cambio en la concentración de dichos gases genera la variabilidad del clima mundial.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Importancia y riesgos para la Facultad de Ingeniería

La dieta, la forma de viajar, las dimensiones de la casa, las costumbres a la hora de comprar, las actividades recreativas, la forma de emplear la electricidad, el uso de la calefacción y de electrodomésticos como los secadoras, lavadoras, vehículos de transporte y los refrigeradores, influyen decisivamente en el aumento de la huella de carbono de cada persona, hogar o establecimiento.

Una comunidad de universitarios con una cultura diferente por la zona geográfica de donde proceden produce una serie de vectores a los cuales se les debe poner atención, sobre todo cuando se habla de la huella de carbono y la forma de analizarla. Cada uno de los individuos que confluyen a una universidad tienen costumbres diferentes, muchos viajan en automóvil propio, otros en bus de pasajeros, esto permite analizar que el consumo de combustible es diferente dependiendo el transporte que se elija o del cual se disponga. A ello hay que agregar los hábitos que practican en sus hogares en el manejo de la energía y los recursos hídricos, que son factores determinantes en el cálculo de la huella de carbono en el entorno de las instalaciones de una unidad académica universitaria, por ello es de suma importancia para la Facultad de Ingeniería conocer de alguna manera general los hábitos y costumbres de los usuarios de las aulas facultativas, para medir el valor ecológico de la huella en función del gasto energético por el uso de las instalaciones y sus diversos servicios.

De esta medición depende la educación ecológica de los estudiantes y los administradores de la Facultad de Ingeniería y por ello cobra relevancia e importancia la obtención de un valor en la huella de carbono, para abordar medidas que puedan mitigar el problema ambiental con responsabilidad científica, siendo una casa de estudios de una magnitud internacional.

En cuanto a los riesgos que pueden ser significativos para la Facultad de Ingeniería, es importante saber que la población estudiantil sigue en crecimiento y por ello alrededor de las instalaciones de los edificios se ha instalado una serie de comercios de diversa índole, como cafeterías, kioscos de comida, fotocopiadoras, incluso aparatos de microondas, sumándose a la cantidad de equipos de cómputo que son utilizados por los estudiantes, así como las oficinas administrativas, los diversos equipos de laboratorio que se utilizan para docencia, teléfonos celulares, vehículos oficiales de la facultad, vehículos propios de los estudiantes y docentes, y basureros que generan metanos.

Cada uno de estos vectores son generadores de consumo de energía y productores de gases contaminantes, tal es el caso de los vehículos, las cocinas de las cafeterías y los basureros, los cuales no tienen control ambiental y están produciendo día con día contaminación para los mismos usuarios, lo cual conlleva un riesgo latente para el desarrollo de las personas que transitan por el complejo de edificios que conforman esta facultad.

Si el análisis y el cálculo de la huella de carbono en el espacio físico que ocupan las instalaciones de la Facultad de Ingeniería supera la huella ecológica, los riesgos son altos para la convivencia y el aprendizaje en un ambiente contaminado, esto como producto de la mala práctica en cuanto a la utilización de los recursos, de las instalaciones y los insumos. Por lo

anterior se puede inferir un riesgo latente del cual no se han percatado las autoridades, los usuarios estudiantes, visitantes y trabajadores de dicha entidad facultativa.

La generación *per cápita* de residuos sólidos se mide en términos de la cantidad de kilogramos que genera una persona por día. Según los datos de la Evaluación Regional llevada adelante por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), los latinoamericanos generan 0,63 kg/día de residuos sólidos domiciliarios (RSD). En cuanto a agua, una persona al día consume un promedio de 140 L/ día.

El consumo de energía eléctrica *per cápita* según la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en Guatemala es de 539,07 Kwh, que define el consumo de energía eléctrica como la medición de la producción de las centrales eléctricas y de las plantas de cogeneración menos las pérdidas ocurridas en la transmisión, distribución, transformación y el consumo propio de las plantas de cogeneración.

En la siguiente tabla se ve un aproximado del consumo de energía, agua y generación de desechos en la Facultad de Ingeniería:

Tabla V. **Proyección de la generación de desechos, consumos de agua y energía eléctrica de la Facultad de Ingeniería**

Edificios	T1, T3, T4, T5, T7, T6
Población estudiantil	13,368
Cantidad de residuos sólidos Generados diarios (kg)	14,166.28
Cantidad de litros de agua utilizados al día.	1,249,908
Consumo de energía eléctrica día (kw/h)	7,206,287.76

Fuente: elaboración propia.

3.2. Oportunidades para la Facultad de Ingeniería

Las oportunidades son claras, siendo una facultad en donde todos los días se adquieren conocimientos para la solución de problemas relacionados con la ciencia de la ingeniería, la cual está vinculada al desarrollo de la industria en Guatemala, todos los integrantes de la facultad deben estar empoderados con el establecimiento de parámetros que estén de acuerdo con las normas que rigen las prácticas ambientales y el uso adecuado de la energía.

Comprender los indicadores que permiten saber que se está ya en un sobregiro ecológico es una de las mayores oportunidades con las que se puede contar, pues con el cálculo de este tipo de indicadores se muestra el estado del desarrollo institucional en materia ambiental. Este sirve para la implementación de medidas para una adecuada gestión del cambio climático.

Estos datos se proporcionan tanto netos como *per cápita*, para mostrar el avance en relación con los resultados anteriores en la institución y con los resultados en general del país. La huella de carbono representa una medida para la contribución de las organizaciones a ser entidades socialmente responsables y un elemento más de concientización para la asunción entre los ciudadanos de prácticas más sostenibles.

La oportunidad está basada en que el cambio del clima global es uno de los desafíos más grandes de la humanidad y uno de los indicadores más importantes. Dado que la huella de carbono es el 50 % de la huella ecológica total de la humanidad, la reducción de esta es esencial en la solución del sobregiro ecológico.

3.3. Responsabilidad social

Cuando se habla de responsabilidad social y esta se coloca en el plano de la academia, se convierte en una doble responsabilidad, precisamente porque siendo una escuela de formación científica un sus niveles más altos no puede ignorar los riesgos que conlleva no tomar acciones para la reducción de los GEI, considerando que la garantía de un ambiente limpio para la convivencia en un recinto de educación superior es la preeminencia para la vida social de los usuarios de los espacios académicos, administrativos y zona verdes que conforman el área de la Facultad de Ingeniería.

La responsabilidad social lleva entonces a reconocer que es necesaria la generación de una línea base para el desarrollo y la aplicación de una política medioambiental tangible y una estrategia efectiva que contribuya a la lucha global contra el calentamiento global, y permite observar la oportunidad de tomar medidas para la reducción de emisiones de GEI y de costos de energía,

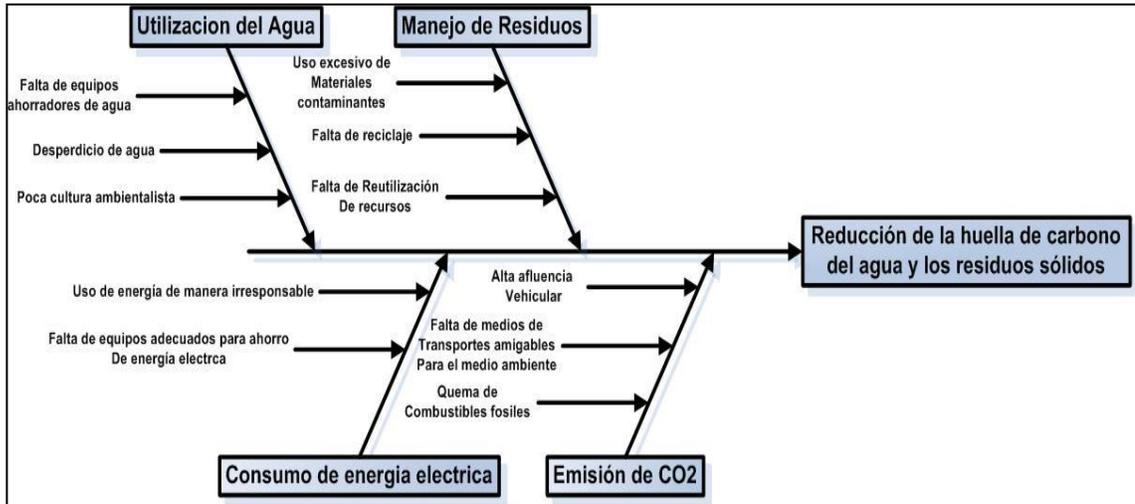
transporte, residuos, entre otros costos operativos, creando de esta manera una cultura de protección del medio ambiente, para poder comprender el cálculo de la huella de carbono como una ventana de oportunidades para la innovación tecnológica y la eficiencia en el uso de materiales y energía a lo largo de las operaciones vinculadas al desarrollo académico, todo lo cual permite la transparencia en la contabilización y difusión del inventario de emisiones de GEI en el entorno educativo

El calentamiento global es un fenómeno real, que está aquí, afectando a todos en mayor o menor medida. Reducir y neutralizar la huella de carbono es claramente un paso en la dirección correcta en la lucha por la conservación de este planeta. Cada organización, grande o pequeña, puede hacer su aporte. Es un tema que compete a todos y, en caso de ser atendido, debe hacerse en forma seria y responsable, siguiendo protocolos y metodologías probados y reconocidos. Como toda decisión debe ser evaluada como una parte integral estratégica de la unidad facultativa en mención. La evidencia de cada día sobre el Cambio Climático y sus efectos en la vida humana no puede dejar indiferente a nadie y debe ser un tema de alta prioridad para gobiernos, así como para toda la sociedad en su conjunto.

3.4. Diagrama de espina de pescado

En este diagrama se detallarán los factores principales que se debe atacar para reducir considerablemente la huella de carbono de la Facultad de Ingeniería:

Figura 5. Diagrama de espina de pescado (Ishikawa)



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Tabla de causa y efecto

En la siguiente tabla se detalla de una mejor manera los efectos de los principales factores:

Tabla VI. Causa y efecto

Causa	Efecto
Utilización del agua	No tener una adecuada utilización del agua en la facultad provoca un desperdicio considerable de este recurso natural y un aumento de aguas residuales.
Manejo de residuos	Un mal sistema de gestión de residuos produce un deterioro del entorno debido a la contaminación del aire, del agua y del suelo. Cuando se carece de un manejo apropiado de los residuos sólidos se está arriesgando la salud de los estudiantes y se causan problemas al medio ambiente.

Continuación de la tabla IV.

Consumo de energía eléctrica	El mal uso de la energía es uno de los principales motivos por los que se ha alterado el equilibrio de la naturaleza y el planeta, esto genera un calentamiento constante del planeta tierra.
Emisión de CO2	Una de las principales causas es el calentamiento global provocado, entre otros factores, por el aumento del efecto invernadero, debido a un exceso de emisiones de CO2. Un exceso de emisiones acentúa el efecto invernadero, lo que reduce la dispersión de calor acumulado por la radiación solar en la superficie del planeta hacia el espacio y provoca un mayor calentamiento de la Tierra.

Fuente: elaboración propia.

3.5. Matriz de análisis FODA

Para realizar una acertada toma de decisiones sobre la disminución de la emisión de GEI en la Facultad de Ingeniería es necesario conocer, comprender y analizar el problema conociendo todos los aspectos que lo rodean. Para realizar este análisis se utilizará la matriz FODA que se presenta a continuación:

Tabla VII. **Análisis FODA**

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ol style="list-style-type: none"> 1. Buena imagen de la Facultad de Ingeniería de la USAC hacia la población. 2. Credibilidad con estudiantes, miembros de la Universidad y población en general de Guatemala. 3. Capacidad técnica e intelectual para implementación de procedimientos de gestión ambiental. 4. Investigaciones constantes sobre temas relacionados con el medio ambiente 5. Instalaciones adecuadas para investigaciones. 6. Diversidades culturales nacionales y extranjeras. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Escasa divulgación de temas relacionados con el medio ambiente para generar conciencia ambiental. 2. Escasa conciencia medioambiental. 3. Falta de recursos destinados a la conservación del medio ambiente y la educación ambiental. 4. Déficit del manejo de residuos y óptima utilización de recursos naturales. 5. Déficit de programas y proyectos de educación ambiental.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. Creciente percepción positiva de la población en general hacia la preservación del medio ambiente. 2. Ayuda nacional e internacional para proyectos medio ambientales. 3. Nuevos yacimientos de estudios y especializaciones basados en la conservación de los recursos naturales y eficiencia energética. 4. Implementación de un sólido sistema de gestión ambiental para la facultad. 5. Reutilización de recursos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de residuos sólidos. 2. Incrementos de emisiones de gases de efecto invernadero. 3. Mala utilización de recursos naturales. 4. Escasa conciencia ambiental de estudiantes egresados de la Facultad de Ingeniería de la USAC. 5. Inexistencia de normativas del uso de recursos naturales y baja eficiencia energética. 6. Baja credibilidad ambiental de la Facultad de Ingeniería.

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Estrategias para variables correspondientes a cada factor

- (Para debilidad 1): preparar publicidad constante del manejo adecuado de los residuos sólidos y la buena utilización de los recursos naturales.

- (Para debilidad 2): implementar capacitación y conferencias que creen una conciencia ambiental en los miembros de la facultad.
- (Para debilidad 3): hacer un presupuesto destinado a la conservación del medio ambiente dentro y fuera de la Facultad que deje una enseñanza ambiental permanente.
- (Para debilidad 4): implementar un sistema de reciclaje desde las aulas y salones de la Facultad de Ingeniería, así como la contratación de empresas recolectoras de desechos que estén certificadas.
- (Para debilidad 5): crear más cursos ambientales dentro del *pensum* de estudio de la Facultad de Ingeniería, que enseñen métodos amigables para el medio ambiente en el hogar y la industria.

3.6. Planteamiento de propuesta para la reducción de la huella de carbono del agua y los residuos sólidos

Teniendo claro el problema de la creciente emisión de GEI en el planeta, es necesario que facultades como la de ingeniería de la USAC, con tanta credibilidad y buen prestigio, refuercen aún más los sistemas, procedimientos y acciones que se han tomado hasta ahora, emediante indicadores como esta investigación, que permitan identificar y atacar los puntos más críticos y así enfocarse en una reducción considerable de la huella de carbono. Esto será posible mediante capacitaciones e implementación de procedimientos, sistemas y renovación de equipos que mejoren las prácticas en el manejo de residuos sólidos, así como que provoquen una mejora continua en la utilización eficiente de los recursos naturales desde los estudiantes hasta los colaboradores, teniendo como objetivo lograr migrar estas implementaciones a las demás facultades de la USAC para tener un impacto mucho más grande a largo plazo.

4. METODOLOGÍA Y CÁLCULO

Para cuantificar los Gases de Efecto Invernadero asociados a la Facultad de Ingeniería será utilizado el reporte GHG Protocol, ampliamente aceptado a nivel de gobierno, empresas y ONG. Este protocolo solicita establecer el límite organizacional y el límite operacional, los cuales son definidos a continuación.

- Límite organizacional: se debe contabilizar el 100 % de las emisiones atribuibles a las operaciones sobre las cuales la organización ejerce control. Para la Facultad de Ingeniería, se ocupará un enfoque de control operacional.

Se contabilizaron las emisiones de los procesos en los cuales la unidad académica tiene control, quiere decir que abarca todas las actividades donde tiene la autoridad para alterar directamente sus patrones de emisión, ya sea a través de la implementación de una política, de una tecnología o de cambios significativos en su funcionamiento.

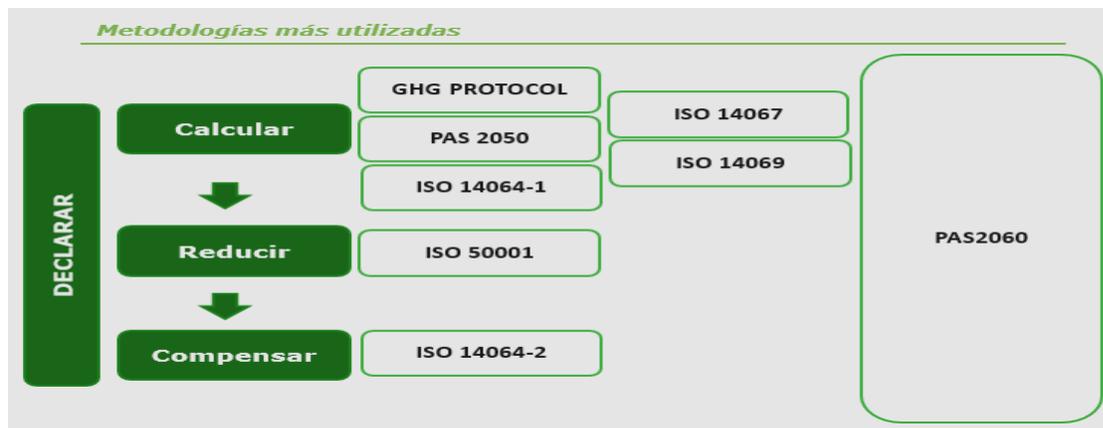
- Límite operacional: se debe identificar las emisiones asociadas a operaciones clasificándolas como emisiones directas o indirectas. Siendo las primeras de fuentes que son de uso y son controladas por la facultad y las segundas son consecuencia de las actividades de la misma, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de otra organización.

Para facilitar esta clasificación se definen alcances, para ayudar a delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas.

- Emisiones directas que ocurren en fuentes que son de uso de la facultad o están controladas por ella.
- Emisiones indirectas provenientes de la generación de electricidad consumida.
- Otras emisiones indirectas, consecuencia de las actividades de la facultad.

Asegurar la precisión en la medición de emisiones promoverá su credibilidad y fortalecerá la transparencia. La incertidumbre de la estimación surge cada vez que se cuantifican emisiones de Gases de Efecto Invernadero; en este caso, la incertidumbre está presente en los factores de emisión utilizados y en los correspondientes datos de actividad. Finalmente, las bases de datos utilizadas serán proporcionadas por las autoridades de las distintas áreas de la Facultad de Ingeniería. Las estimaciones serán las relacionadas a movilidad y residuos sólidos.

Figura 6. **Formatos de metodología**



Fuente: herramienta interna de control de costos en el marco del convenio de colaboración empresarial entre CEPYME Aragón y Pryisma.

Las emisiones de GEI asociadas a una actividad se pueden clasificar según se trate de emisiones directas o emisiones indirectas. En concreto, se pueden definir tres alcances según las emisiones a las que se hace referencia:

- Alcance 1: emisiones directas. Incluye las emisiones directas que proceden de fuentes que posee o controla el sujeto que genera la actividad. Por ejemplo, este grupo incluye las emisiones de la combustión de calderas y de vehículos, que el propio sujeto posee o controla.
- Alcance 2: emisiones indirectas de la generación de electricidad y de calor. Comprende las emisiones derivadas del consumo de electricidad y de calor, vapor o frío. Las emisiones de la electricidad y el calor, vapor o frío adquiridas, se producen físicamente en la instalación donde la electricidad o el calor son generados. Estas instalaciones productoras son diferentes de la organización de la cual se estiman las emisiones.
- Alcance 3: otras emisiones indirectas. Incluye el resto de emisiones indirectas. Las emisiones de este alcance son consecuencia de las actividades del sujeto, pero provienen de fuentes que no son poseídas o controladas por el sujeto. Algunos ejemplos de actividades de alcance 3 son la extracción y producción de materiales adquiridos, los viajes de trabajo, el transporte de materias primas y de combustibles.

En los cálculos de la huella de carbono de la Facultad de Ingeniería, que se detallarán más adelante, se abarcará los alcances 1, 2 y 3, incluyendo los siguientes cálculos:

- Alcance 1: movilidad con vehículos propios y generación de residuos sólidos.

- Alcance 2: consumo de electricidad indicado en la tabla de generación y consumos de la Facultad de Ingeniería.
- Alcance 3: consumo de agua y transporte realizado por personal y alumnos, así como consumos de papel.

Para el cálculo de la huella de carbono se considera a la Facultad de Ingeniería como un sistema integrado, con unos *inputs* de consumo de recursos naturales (agua, materiales de construcción), combustibles (energía eléctrica, energía calorífica, combustibles destinados a movilidad), y unas salidas de emisiones y residuos.

4.1. Cálculo de emisiones de CO2

A continuación, se presenta el cálculo directo de emisiones de CO2.

4.1.1. Cálculo directo

Se aplica un cálculo directo en los casos en que se tienen los datos de consumos conocidos, por lo que habrá que transformar los consumos a emisiones equivalentes de CO2, mediante los factores de conversión correspondientes y coherentes en unidades.

Si se obtienen consumos y factores de conversión en unidades diferentes se transformará uno de los dos factores, para encontrar resultados coherentes en unidades. Finalmente, todos los cálculos de emisiones de CO2 deben tener las mismas unidades.

Para escoger los factores de conversión se dará prioridad a los factores locales frente a los globales, en algunos casos los factores de conversión serán

de elaboración propia, suministrados por las empresas de servicios o de bibliografía. En general, una vez que se conocen los factores de emisión y se dispone de los datos de consumo, únicamente hay que multiplicar por el correspondiente factor de emisión para conocer las emisiones asociadas.

4.1.2. Cálculo indirecto

Como se comentó anteriormente, para obtener datos relacionados con transporte y hábitos de consumo de papel de los estudiantes, los consumos se evalúan a partir de encuestas, es lo que se llama cálculo indirecto. Una vez obtenidos los datos se aplican directamente los factores de emisión.

Para el estudio de huella de carbono es necesario disponer de datos relativos a la totalidad de la universidad, por lo que se emplean los factores de extrapolación sobre los valores obtenidos a partir de encuestas realizadas a una cantidad estadísticamente representativa de miembros de esta. El cálculo del tamaño de la muestra se realizará con la siguiente fórmula, para un muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95 % y un error de estimación del 10 %:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{e^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Donde:

N = tamaño de la población o universo.

Z= Constante que depende del nivel de confianza que se asigne. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. En este caso será un 95 %.

Tabla VIII. **Los valores Z más utilizados y su niveles de confianza**

Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
α = el nivel de confianza	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	95,5 %	99 %

Fuente: elaboración propia.

Donde:

e = error muéstrela deseado. Es la diferencia que puede haber entre el resultado que se obtiene preguntando a una muestra de la población y el que se obtendría si se pregunta al total de ella. Para este caso se tomará un 10 %.

p = es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0,5$, que es la opción más segura.

q = es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n = es el tamaño de la muestra (número de encuestas que se hará).

A continuación, de acuerdo a los datos de la investigación, se presenta el tamaño de la muestra:

Tabla IX. **Tamaño de la muestra**

N:	13 368
Z:	1,96
e :	10 %
p :	0,5
q :	0,5
n =	95

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Huella de carbono**



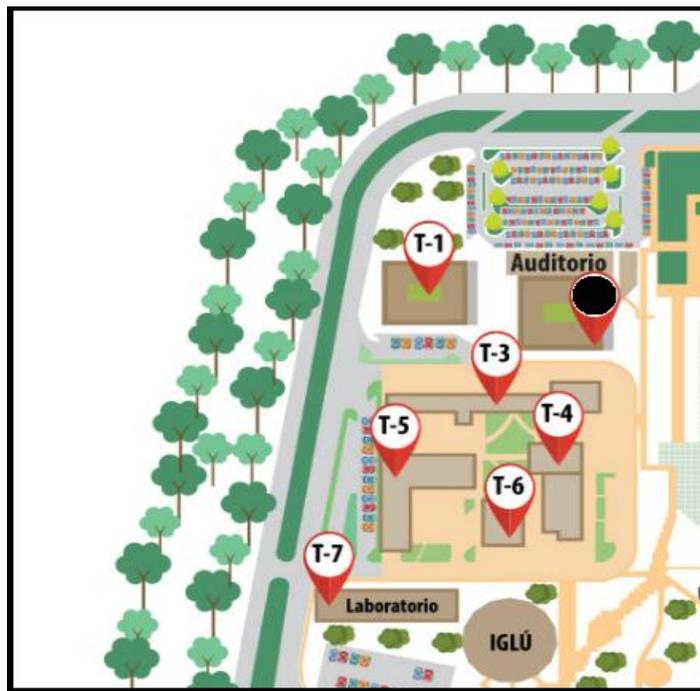
Fuente: *Huella de carbono*. <https://triplenlace.com/>. Consulta: junio de 2017.

4.2. **Área de estudio**

El área delimitada para este estudio está circunscrita al espacio que ocupan los edificios más representativos en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala: T1, T3, T4, T5, T6, T7, y también los centros de distribución de comida adyacentes a los edificios. La metodología está basada en hacer un inventario de todas las fuentes de consumo energético y los diversos servicios de orden cotidiano, los cuales son utilizados por los estudiantes, docentes y trabajadores administrativos.

de la Facultad de Ingeniería. Se hace el análisis también de la cantidad de vehículos de cuatro ruedas y motocicletas de los diferentes parques alrededor de los edificios, cocinas y laboratorios.

Figura 8. **Distribución de edificios de la Facultad de Ingeniería**



Fuente: *Facultad de Ingeniería*. <https://introspectivagt.com/2017/09/03/murales-de-la-universidad-de-san-carlos/>. Consulta: 3 de julio de 2018.

4.3. Sujetos

- Estudiantes

La cantidad de estudiantes que confluye a las diferentes carreras que imparte la Facultad de Ingeniería es de 13 368, esta cantidad incluye personas de ambos sexos, los núcleos son variados debido a que muchos

viajan del interior, ya que en los centros regionales no se imparten todas las carreras que son de interés de los que aspiran a ser ingenieros.

Cada uno de los individuos tiene una cultura diferente y una forma de vida propia vinculada al entorno de la región de origen, esto lleva a entender que la forma de comportarse en cuanto al manejo de los recursos y los servicios es diferente en cada persona; el uso de la energía, la forma de manejar los desechos, el uso del transporte no son iguales en la provincia que en la Ciudad Capital.

- Docentes

Este grupo de personas son los formadores de los estudiantes, pero esto no significa que posean una educación ecológica acorde a su nivel académico, el pensamiento es variado y las costumbres también, el acceso a los servicios es más inmediato, como producto del ingreso económico que percibe el docente por su trabajo. El cuerpo de docentes pernocta más tiempo en las instalaciones por sus horarios de contratación, esto le obliga a hacer uso de los servicios de cafetería, así como de los servicios en donde hay consumo de agua, el uso de un vehículo es reducido, y el docente utiliza papel y energía eléctrica para impartir sus clases.

- Trabajadores administrativos

Este sector de trabajadores genera un consumo alto de papel, uso de computadoras, transporte en vehículos propios e institucionales, utilización de horno de microondas, teléfono, confluyen también a las cafeterías y a los kioscos de comida, también generan una serie de desechos vinculados con el trabajo de manejo de papelería.

- Trabajadores operativos

Los trabajadores operativos están en contacto directo con los residuos y desechos sólidos que se generan en las diferentes instalaciones, tanto en los salones de clase como en las oficinas administrativas, cafeterías, centros de fotocopiado. También se toma en cuenta la utilización de equipo auxiliar para jardinería que genera consumo de combustible.

4.4. Identificación de fuentes principales de residuos sólidos

Un residuo es todo aquel material que, luego de haber cumplido su función o de haber servido para una actividad o tarea determinada, es descartado. Este término es generalmente empleado como sinónimo de la palabra basura, que es la palabra más extendida en nuestro idioma para designar todos los desechos que los seres humanos producen en sus actividades cotidianas y, por su lado, la palabra sólido es un término que se usa para dar cuenta de aquella cosa u objeto que se presenta firme y sólido y en lo que se conoce como el estado sólido de la materia, que se caracteriza por el gran estado de cohesión que muestran las moléculas que la componen, entonces, los residuos sólidos implican la basura que se halla en estado sólido.

Detectar para identificar las fuentes donde se generan los residuos sólidos es una de las partes más importantes en el cálculo de la huella de carbono. Para identificar estas fuentes hay que tomar en cuenta el área que se ha delimitado para el estudio. En el estudio de campo se visitó cada una de las edificaciones, parqueos, cafeterías y kioscos para obtener un promedio de afluencia de persona.

En el cuadro siguiente se presentan los porcentajes generales de uso de cada uno de los edificios según el tipo de aula.

Tabla X. **Uso general de los edificios de la Facultad de Ingeniería**

Porcentajes de uso por edificios						
TIPO DE AULA	T-3	T-1	T-5	T-7	T-6	T-4
Aula pura	74 %	28,66 %	17,91 %	62,50 %	25 %	0,00 %
Aula especial	82,00 %	0 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Laboratorios	0 %	54,63 %	81,82 %	53,58 %	0,00 %	0,00 %
Laboratorios de cómputo	70,76 %	40,56 %	0,00 %	0 %	0,00 %	0,00 %
Oficinas	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	75 %
Porcentaje de uso general	76 %	31 %	50 %	58 %	25 %	75 %

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. *Reorganización y diseño de los espacios físicos de la Facultad de Ingeniería: área de docencia*. Consulta: 30 de noviembre de 2018.

Con base en el porcentaje de uso de los edificios y por medio de la observación directa en los mismos y sus alrededores, se determina la afluencia promedio de personas, así como las capacidades máximas de cada uno de estos.

En el cuadro siguiente se detalla la capacidad y la afluencia promedio de cada uno de los edificios:

Tabla XI. **Afluencia promedio de personas en los edificios**

Edificios	Cantidad de Aula Puras	Cantidad de Laboratorios	Capacidad Total de estudiantes o personal	Máxima cantidad de cursos impartidos	Promedio de personas por curso	Cantidad de personas en horarios de mayor afluencia según porcentaje de uso general
T-3	35	7	2591	42	62	1 969
T-1	22	18	1587	40	40	1 206
T-5	2	8	324	10	32	246
T-7	4	6	285	10	29	217
T-6	1	0	485	3	162	369
T-4	Administración		75	12	10	57

Fuente: elaboración propia.

Edificio T-1: construido bajo el concepto de mayor flexibilidad de uso y máxima versatilidad, este edificio está destinado para funciones académico-administrativas y de docencia. Se pueden encontrar departamentos, laboratorios, salones de clases y oficinas, donde por el tipo de actividad hay generación de basura y papel de desecho, en la zona perimetral al edificio se ubican varios comercios, dos de alimentos y dos centros de fotocopiado, donde por medio de entrevista con los propietarios se determinó un porcentaje de asistencia a sus negocios.

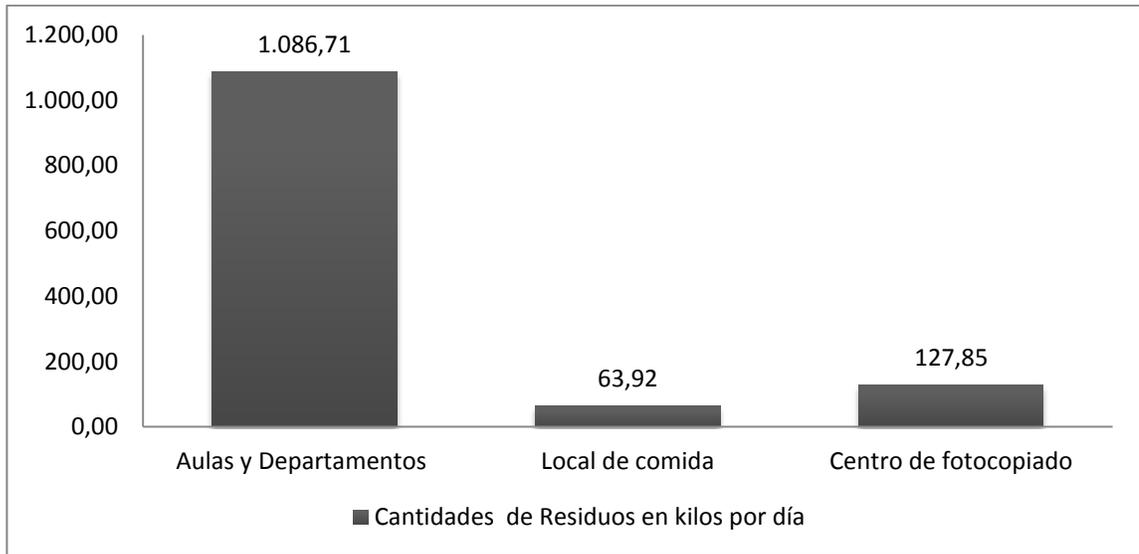
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio:

Tabla XII. **Muestra de edificio T-1**

Sectores de edificio T-1	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Aulas y departamentos	85%	1025	1.06	Orgánicos e inorgánicos	1,086.71
Local de comida	5%	60	1.06	Orgánicos e inorgánicos	63.92
Centro de fotocopiado	10%	121	1.06	Orgánicos e inorgánicos	127.85
TOTAL					1,278.49

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-1**



Fuente: elaboración propia.

Edificio T-3: este edificio consta de un semisótano donde se encuentra la sala de proyecciones, locales para asociación de estudiantes o escuelas de ingeniería, local para transformadores de energía eléctrica y bombas, así como la casa del conserje de la facultad. Los pisos segundo, tercero y cuarto contenían aulas, salas de profesores, servicios sanitarios. El quinto piso contiene salones especiales, salas de profesores, almacenes y servicios sanitarios. Este edificio es el que mayor carga de personas contiene a lo largo de sus diferentes horarios, esto implica una posible alta generación de residuos sólidos.

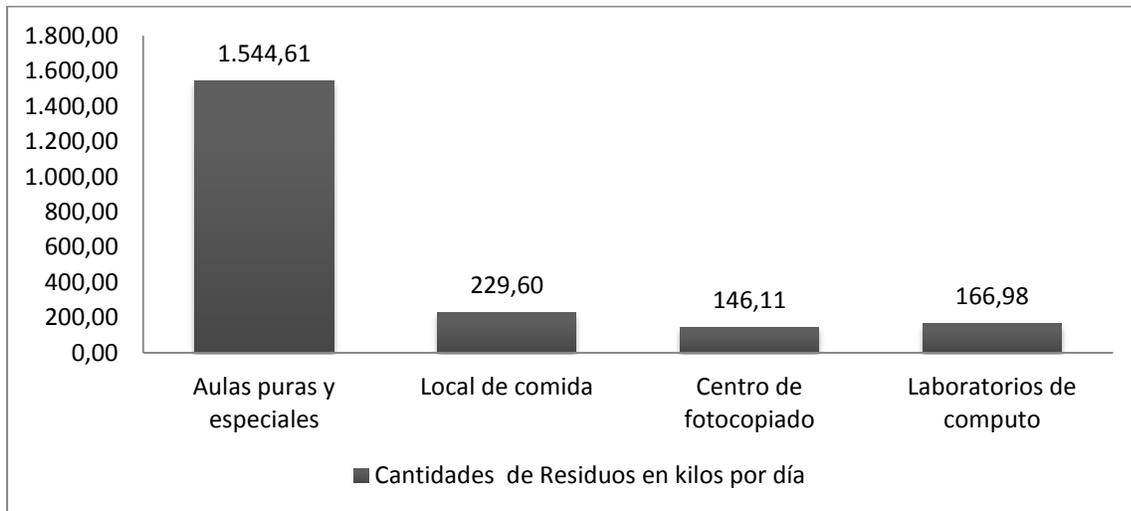
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio:

Tabla XIII. Muestra de edificio T-3

Sectores de edificio T-3	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Aulas puras y especiales	74 %	1 457	1,06	Orgánicos e inorgánicos	1 544,61
Local de comida	11 %	217	1,06	Orgánicos e inorgánicos	229,60
Centro de fotocopiado	7 %	138	1,06	Orgánicos e inorgánicos	146,11
Laboratorios de cómputo	8 %	158	1,06	inorgánicos	166,98
TOTAL					2 087,31

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-3



Fuente: elaboración propia.

Edificio T-4: en este edificio se concentran las actividades administrativas, decanato, secretaría, control académico, biblioteca, unidad de planificación, contabilidad y agencia bancaria. Esta concentración permite la producción de desechos vinculados al manejo del control del personal y de los estudiantes. A esta unidad asisten diversas personas para resolver problemas relacionados con la academia, así como la parte laboral y legal vinculada con los estudios de ingeniería. Desde esta unidad se lleva el control del personal que labora en la Facultad de Ingeniería.

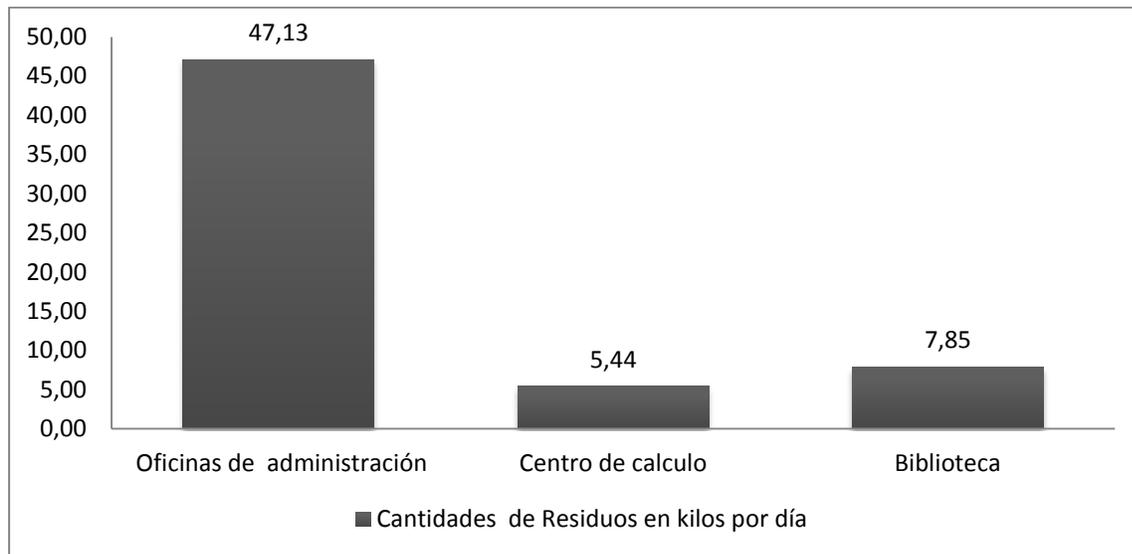
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio:

Tabla XIV. **Muestra de edificio T-4**

Sectores de edificio T-4	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Oficinas de administración	78 %	44	1,06	Orgánicos e inorgánicos	47,13
Centro de cálculo	9 %	5	1,06	Orgánicos e inorgánicos	5,44
Biblioteca	13 %	7	1,06	Orgánicos e inorgánicos	7,85
TOTAL					60,42

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-4**



Fuente: elaboración propia.

Edificio T-5: en este edificio se encuentra una parte del equipo del laboratorio de ensayos, así como el laboratorio de suelos, laboratorio de hidráulica, una biblioteca y los laboratorios de ingeniería química, los cuales emanan vapores de los químicos que son utilizados para las prácticas de los estudiantes. También funciona un laboratorio de referencia para el análisis del agua que se utiliza en la ciudad de Guatemala.

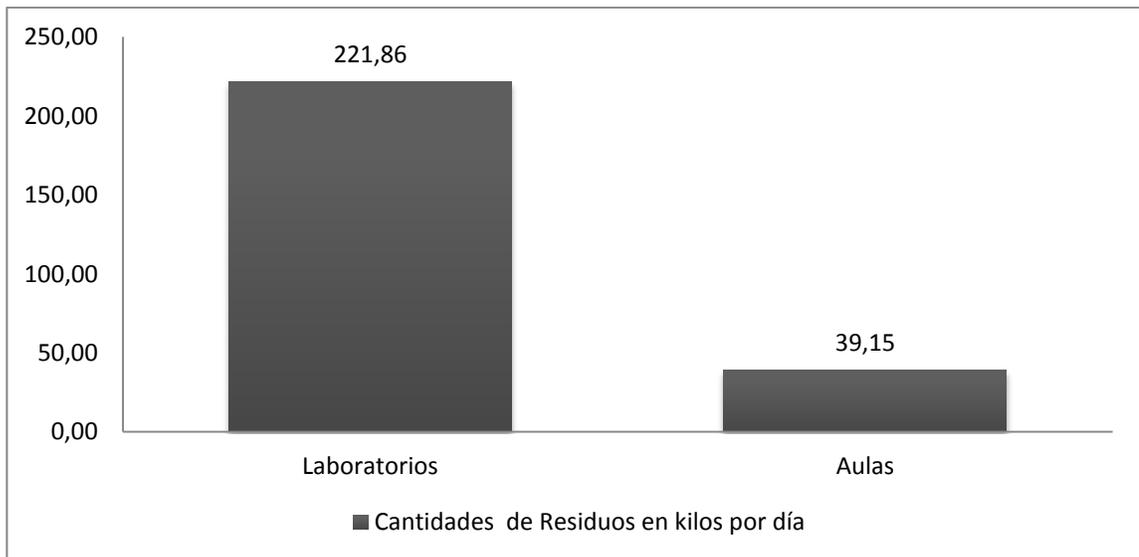
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio:

Tabla XV. **Muestra de edificio T-5**

Sectores de edificio T-5	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Laboratorios	85 %	209	1,06	Orgánicos e inorgánicos	221,86
Aulas	15 %	37	1,06	Orgánicos e inorgánicos	39,15
TOTAL					261,01

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-5**



Fuente: elaboración propia.

Edificio T-7: este edificio inicialmente fue utilizado para laboratorios de Ingeniería Industrial, el edificio tenía la facilidad, según las necesidades de cada semestre, de reducir o aumentar espacio mediante la colocación de tabiques. Hoy en día en el edificio funciona la Escuela de Ingeniería Mecánica, cuenta con una serie de laboratorios vinculados con máquinas y herramientas, y modelos a escala de sistemas de aire acondicionado, metalurgia, motores de combustión, salones de clase y un centro de maquinado CNC (Control Numérico Computarizado).

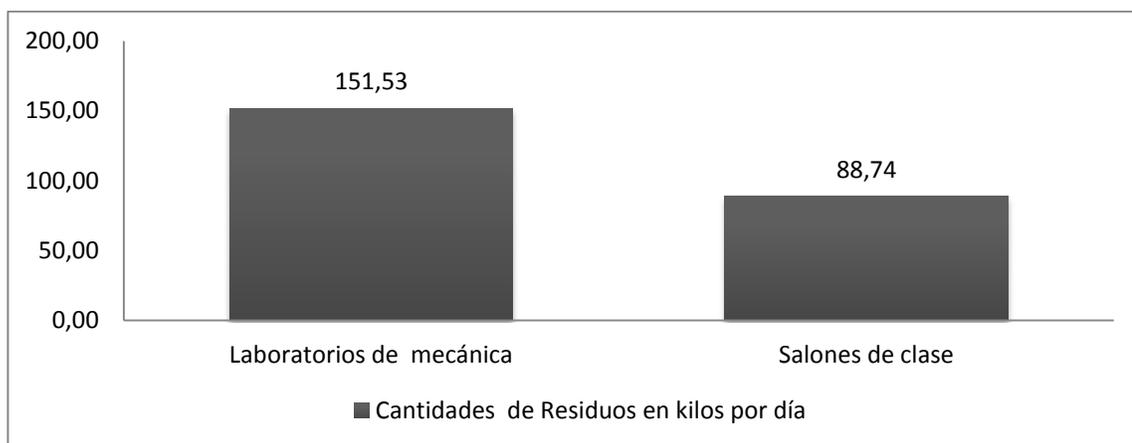
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio:

Tabla XVI. **Muestra de edificio T-7**

Sectores de edificio T-7	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Laboratorios de mecánica	66 %	143	106	Orgánicos e inorgánicos	151,53
Salones de clase	34 %	84	1,06	Orgánicos e inorgánicos	88,74
TOTAL					240,28

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-7**



Fuente: elaboración propia.

Edificio T-6: tiene capacidad para 450 personas, caseta de proyecciones, accesos, escenario y pasillos laterales de circulación. Es utilizado para actividades especiales como graduaciones y conferencias.

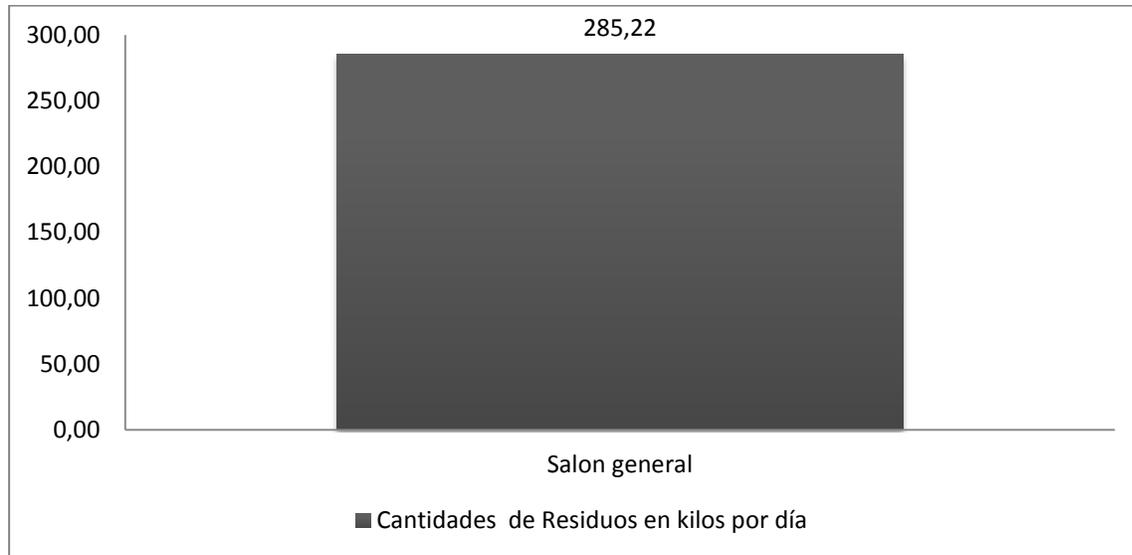
En la siguiente tabla se detalla la cantidad promedio de residuos sólidos que se generan en este edificio cuando es utilizado:

Tabla XVII. **Muestra de edificio T-6**

Sectores de edificio T-6	Porcentaje de asistencia de personas	Cantidad promedio de personas en horarios de mayor afluencia	Promedio de desechos producidos por estudiante de ingeniería al día	Tipo de desechos	Cantidades de residuos en kilos por día
Salón general	73%	269	1.06	Orgánicos e inorgánicos	285.22
TOTAL					285.22

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Cantidades de residuos en kilos por día. Edificio T-6**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Identificación de fuentes principales de consumo de agua

Un minúsculo porcentaje del agua de la Tierra se encuentra en forma de agua dulce superficial, sin embargo, la mayoría de la gente obtiene de ríos y lagos el agua para su consumo. No obstante que los ríos y corrientes de agua son esencialmente importantes para el suministro de agua, contienen quizá solamente el 1 % del total de agua dulce, una fracción de la cantidad de agua que se encuentra en lagos y reservorios. En un momento dado solamente aproximadamente 0,001 % del agua de la Tierra se encuentra en estado de vapor atmosférico, un número sorprendentemente pequeño si se considera el importante papel que este desempeña en las condiciones climatológicas. Sin embargo, esta cantidad de agua se recicla muchas veces por año entre la superficie de la Tierra y la atmósfera, un proceso que se presencia en forma de precipitación pluvial. No hay escasez de agua en la Tierra. La mayor parte del planeta está cubierto por agua, pero muy poca de esa agua es apta para el consumo humano.

La USAC cuenta con una serie de pozos mecánicos y uno de ellos es el que surte el vital líquido a la Facultad de Ingeniería. Este se distribuye en un sistema de tuberías a los edificios a cisternas de almacenaje y luego, por medio de un sistema de bombeo, se dosifica hacia los diversos servicios en la áreas de consumo.

Figura 15. **Pozo**



Fuente: *Pozo de la USAC.*

<https://www.google.com.gt/maps/place/Facultad+de+Ingenier%C3%ADa/@14.587857,-90.5521839,17.51z/data=!4m5!3m4!1s0x8589a13d5cf70e91:0xdca4884d31b3c9bc!8m2!3d14.5876251!4d-90.5531573>. Consulta: abril de 2017.

Las áreas de consumo de agua en donde la demanda se hace mayor son los servicios sanitarios, estos se ubican en cada uno de los niveles de los edificios para satisfacer las necesidades de los estudiantes y las personas visitantes. También el agua llega a diferentes servicios tales como

parqueos, en los cuales existen tomas de agua, que son utilizadas para el riego de jardinería en los diferentes jardines ubicados entre los edificios, también estas tomas de agua sirven para la limpieza de vehículos y otras aplicaciones.

4.5.1. Recopilación de datos

Respecto del consumo de agua por edificio, en cada uno de los niveles, hay instalaciones sanitarias, lavamanos, mingitorios y una serie de *racks* en donde están instalados los conmutadores para la transmisión de datos y señales electrónicas para los diferentes laboratorios en los que existe equipo de cómputo.

Los datos de consumo de agua por edificio permiten cuantificar el consumo de agua por día que los edificios generan en sus diferentes áreas, también las cantidades de luminarias y equipo que operan con energía eléctrica. Hay que estar conscientes de que el servicio de agua depende estrictamente del flujo eléctrico, ya que opera con un sistema de bombeo que distribuye el vital líquido a las diferentes unidades y edificios. Este es un factor importante, ya que el agua de los pozos llega a una cisterna y de ahí se distribuye.

Para efectos de análisis se considera un consumo de 28 litros por toma diaria; considerando que no todas las personas hacen uso de los servicios y la forma de utilización es intermitente, el valor de 28 litros por persona se toma del diseño del edificio.

Es importante resaltar que el edificio T-3 es uno de los más antiguos, ya que fue el primero en construirse, por ello las instalaciones de los

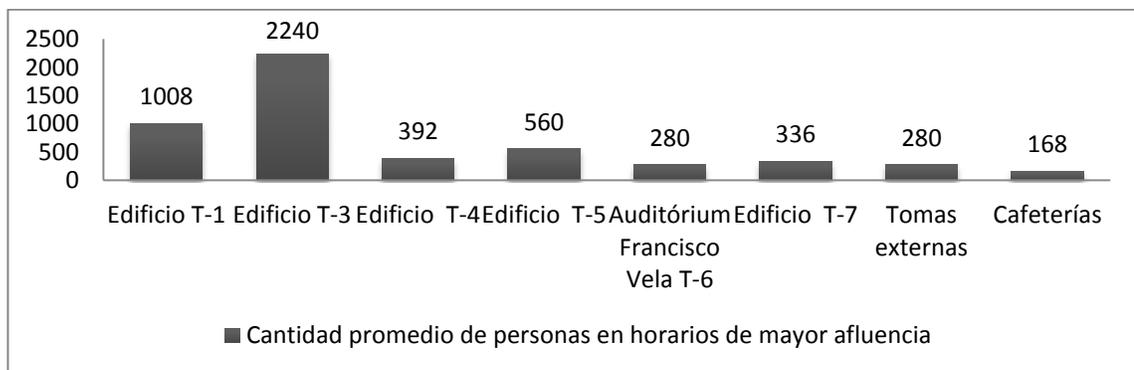
servicios de agua son de la misma forma antiguos. El análisis de este estudio permite evaluar las instalaciones y de alguna forma proponer medidas de mitigación, o la realización de un programa de mantenimiento preventivo para las mejoras y reducir el impacto del consumo de agua que pueda generarse por fugas en las instalaciones envejecidas.

Tabla XVIII. **Consumo de agua según estudio de campo**

Unidad	Cantidad de tomas en el edificio	Consumo en litros por día	Consumo en galones por día
Edificio T-1	36	1 008	266,31
Edificio T-3	80	2 240	591,81
Edificio T-4	14	392	103,57
Edificio T-5	20	560	147,95
Auditorio Francisco Vela T-6	10	280	73,98
Edificio T-7	12	336	88,77
Tomas externas	10	280	73,98
Cafeterías	6	168	44,39
Total	188	5 264	1 390,75

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Consumo de litros de agua por día**



Fuente: elaboración propia.

4.6. Consumo de combustible

La mayor parte de las emisiones de CO₂ se derivan de la movilidad itinerante, por desplazamientos a los lugares de trabajo y estudio, tanto de trabajadores como de alumnos de la Facultad de Ingeniería en sus vehículos propios. Un porcentaje alto de estudiantes, trabajadores administrativos, docentes y visitantes utilizan su propio vehículo para desplazarse hacia el *campus* universitario y al espacio que ocupa la facultad. Por medio de una entrevista de campo se determinó que la cantidad promedio que recorre cada estudiante, docente y trabajador de la facultad es de 19,56 kilómetros y la media de automóviles hace 45 kilómetros por galón, es por ello que la cantidad de CO₂ producido es alto.

En la siguiente tabla se detalla la cantidad diaria promedio de combustible que se consume por cada sector de parqueo que se ubica en los edificios:

Tabla XIX. Consumo de combustible

Edificio	Cantidad de vehículos primera jornada	Cantidad de vehículos segunda jornada	Cantidad de vehículos tercera jornada	Distancia promedio que se recorre hacia la facultad	Consumo de combustible en galones por automóvil	Consumo de combustible en litros por automóvil	Consumo de combustible por edificio en litros diario
Edificio T-1	60	48	60	19.56	0.43	1.64	276,03
Edificio T-3	110	85	115	19.56	0.43	1.64	509,34
Edificio T-4	20	15	20	19.56	0.43	1.64	90,37
Edificio T-5	75	64	80	19.56	0.43	1.64	359,83
Edificio T-6	15	10	15	19.56	0.43	1.64	65,72
Edificio T-7	40	33	45	19.56	0.43	1.64	193,88
Total	320	255	335				1 495,17

Fuente: elaboración propia.

El total de los litros consumidos diarios se divide en motores diésel y de gasolina. La proporción para cada motor se detalla en la siguiente tabla:

Tabla XX. **Consumo de litros diarios de combustible por motores**

Porcentaje de motores de gasolina	15 %	224,27496
Porcentaje de motores diésel	85 %	1 270,89144

Fuente: elaboración propia.

4.7. Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Es necesario considerar las actividades sobre las que se ejerce el control o de las que se es propietario. Se deben incluir los datos de todas las instalaciones de la Facultad de Ingeniería al 100 % y aquellas que controla, de forma financiera u operativa. Esto garantizará que la huella de carbono incluye toda la actividad de la facultad y que se refiere exclusivamente a su actividad.

Una vez que la institución conoce cuáles son las fuentes de generación de GEI, deberá determinar cuál es el alcance que quiere dar al cálculo de su huella de carbono. Determinar el alcance significa establecer cuáles son las fuentes generadoras de GEI que se van a considerar para la huella de carbono y las que no se van a considerar.

Para realizar el cálculo de GEI se necesitan los factores de conversión. Como ya se ha dicho, se obtienen de varias fuentes, en este caso se tomarán estos factores del recurso bibliográfico y se utilizarán los factores de referencia del cálculo de la huella de carbono de la Universidad de Valladolid en España.

Tabla XXI. **Factores de conversión para el cálculo de la huella de carbono**

Factor de conversión	kgCO2/litro
Gasolina	2.38
Diésel	2.61
Residuo sólidos	0.61
Agua	0.12

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de consumo de gasolina por día:

Ga= litros de gasolina

F= factor de conversión

$$(Ga)(F) = 1\,270,89 * 2,38 = 3\,024,72 \text{ kg CO}_2/\text{litró}$$

Cálculo de consumo de diésel por día:

Di= litros de diésel

F= factor de conversión

$$(Di)(F) = 224,27 * 2,61 = 585,36 \text{ KgCO}_2/\text{litró}$$

Cálculo de GLP en litros por día:

GLP= gas licuado de petróleo

F= factor de conversión

$$(GLP)(F) = 20 * 1,63 = 32,6 \text{ KgCO}_2/\text{litró}$$

Cálculo de consumo de residuos sólidos por día en Kg/día:

De acuerdo a los análisis hechos en todos los edificios de la facultad, el promedio total de residuos sólidos producidos diariamente es de 4 212,73 kilogramos.

RS= residuos sólidos en Kg.

F= factor de conversión

$$(PL)(F) = 4212.73 * 0.61 = 2569.76 \text{ KgCO}_2/\text{ día}$$

Cálculo de consumo de agua en litros por día:

Ag = agua en litros por día

F= factor de conversión

$$(Ag)(F) = 5\,264 * 0,12 = 631,68 \text{ KgCO}_2/\text{litró}$$

Tabla XXII. **Huella de carbono**

Unidades de consumo	Cantidad de emisión de CO2 por 30 días	Total de emisiones mensuales de CO2	Total de emisiones promedio anuales de CO2
Agua	(631,68)30	18 950,40	227 404,80
Residuos sólidos	(2 569,76)30	77 092,80	925 113,60
Combustible	(3 024,72 + 585,36)30	108 302,40	1 299 628,80
Gas	(32,6)30	978,00	11 736,00
Total		205 323,60	2 463 883,20

Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El agua, al igual que otras fuentes de consumo, forma parte de las actividades diarias en la Facultad de Ingeniería, por lo que es coherente plantearse medidas que permitan reducir la incidencia de este suministro y el manejo del mismo, de forma que se pueda reducir su impacto en la huella de carbono.

Lo mismo ocurre con los combustibles que proporcionan energía térmica para mantener la comodidad dentro de los edificios, pero se puede conseguir reducir su impacto a través de diferentes actuaciones que mejoren la envolvente térmica de los edificios, reduciendo la demanda e incorporando equipos más eficientes en las instalaciones, y optando por fuentes energéticas renovables y más eficientes.

Una fuente de consumo de combustible son los vehículos que conforman la flota en servicio de la Facultad de Ingeniería, en la mayoría de los casos los vehículos son subutilizados, debido a que se utilizan para la realización de mensajería y en algunos casos para uso personal. En lo relacionado al consumo de agua se detecta una forma no adecuada del manejo del recurso, en el sistema de tuberías, en las tomas de agua y en los tubos de abastecimiento hay fugas considerables constantes. El comportamiento de las personas que utilizan los servicios sanitarios durante la jornada de operación lectiva es variado, debido a la idiosincrasia de los núcleos, como ya se menciona en los párrafos anteriores. El factor de uso conlleva prácticas derivadas de la costumbre de los usuarios, se detecta una forma inadecuada del uso a través de dejar las llaves de los

grifos abiertas, esto facilita el desperdicio y por ende un consumo exagerado y, por consiguiente, pérdida de energía para el bombeo del agua.

5.1. Cuantificación de emisiones de GEI

Para cuantificar las emisiones se debe desarrollar los cálculos del consumo energético, de agua, de producción de desechos sólidos, papel y otros, utilizando factores que se ha utilizado ya en la Universidad de Valladolid en el cálculo de la huella de carbono del *campus*.

Tabla XXIII. Emisiones totales del área de estudio/año

Categoría	Emisiones en Kg CO2/año
Consumo de agua	227,404.80
Generación de residuos	925,114
Consumo de combustible	1,299,629
Consumo GLP	11,736
Total emisiones	2,463,883.20

Fuente: elaboración propia.

5.2. Análisis de los resultados

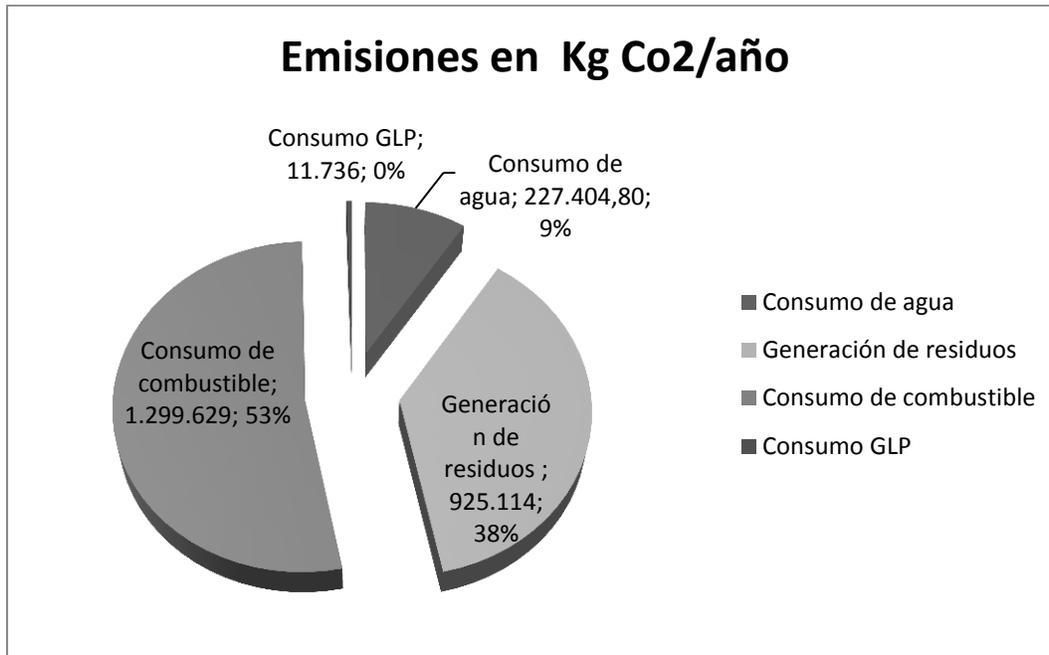
Los resultados obtenidos de los diagnósticos de los diferentes lugares en donde se genera el consumo de agua, papel, GLP y combustible, así como los sitios en donde se producen los desechos sólidos, indican que la mayor generación de CO2 se emite en los residuos sólidos producidos y combustibles.

Por lo tanto, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala debe enfocarse en la reducción inmediata de residuos sólidos y combustibles en todas las áreas que conforman la misma, ayudando así no solo al medio ambiente sino a la reducción de costos por la utilización y manejo de estos recursos.

La cantidad de emisiones totales generadas están calculadas para tener un parámetro por día hasta un año específico. Se calcula para un año debido a que al realizar otra medición en un ejercicio de otros trescientos sesenta y cinco días, puede arrojar valores diferentes, que registren aumentos en los consumos y los comportamientos de generación de residuos. Este ejercicio anual sirve de base para poder hacer una nueva medición y comparar con el comportamiento actual de este estudio.

En la siguiente gráfica se puede observar la gran diferencia entre los factores. Entre estos sobresalen el consumo de combustible y la generación de residuos sólidos, con 53 % y 38 %, respectivamente, esto debido a la alta afluencia vehicular y las malas prácticas de generación y manejo de residuos en la facultad.

Figura 17. **Porcentaje de emisiones de CO2 al año**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Estrategias para la reducción de GEI

Se deben desarrollar diferentes actuaciones que implican la reducción del consumo de combustible, agua, GLP y residuos sólidos y energía eléctrica.

- Sustitución de equipos de bajo rendimiento en la generación térmica por otros más eficientes.
- Análisis de los edificios, así como la readecuación de los sistemas existentes, lo que llevará a mejorar la huella de carbono y a hacer que las actividades sean más sostenibles.

- Elaborar un estudio de impacto ambiental completo para determinar el impacto del funcionamiento de la facultad hoy en día.
- Realizar auditorías internas periódicamente y con base en los hallazgos de las mismas se deben modificar e implementar nuevos sistemas y procesos. Con base en estas auditorías, posteriormente pedir la colaboración a auditores externos que refuercen los criterios.

5.3.1. Estrategias para minimizar el consumo de combustibles

Es una categoría importante de consumos energéticos y contaminación asociada a la Facultad de Ingeniería, por lo que se necesita aplicar la mayor cantidad posible de medidas para reducirla, entre otras:

- Evitar la subutilización de los vehículos e implementar modelos de vehículos que generen el ahorro.
- Para la realización de las actividades de mensajería hay que implementar el servicio de motocicletas y bicicletas.
- Transporte a pie, se debe hacer un análisis y mejora de la accesibilidad de las zonas ajardinadas, de accesos y pasos, para favorecer los desplazamientos a pie.
- Elaborar un plan de ahorro y consumo de combustible para todo personal que asista a la Facultad de Ingeniería.

5.3.2. Estrategias para ahorro de agua

A través de una adecuada gestión del ciclo del agua pueden lograrse grandes ahorros. En los edificios se debe lograr una reducción importante de

la demanda de agua para riego y servicio sanitario, mediante la recolección del agua de lluvia recogida en la cubierta. El reciclaje de las aguas grises por medio de una planta de tratamiento de agua es un procedimiento viable para su uso en el sistema.

Se propone las prácticas de jardinería racional para la reducción del consumo de agua, como la elección de especies autóctonas, el riego programado y la reducción de césped, sustituyéndolo por especies tapizantes, como por ejemplo *Dichondra repens*, también conocida como “oreja de ratón”.

En cuanto al agua utilizada en los edificios, se incluirán elementos de ahorro de agua, como grifos, reductores de caudal (estos dispositivos se pueden incorporar en las tuberías de los lavabos o duchas para impedir que el consumo de agua exceda un consumo fijado) , mingitorios secos que ahorran un aproximado de 164 000 litros al año, dispositivos de aire (se pueden enroscar en las tuberías de los grifos para incorporar aire al caudal de agua y así reducir el consumo de agua hasta un 40-50 % del gasto inicial sin ningún perjuicio para el usuario) e inodoros (los inodoros con cisterna baja pueden ahorrar agua mediante la incorporación de un sistema de interrupción de descarga que permite escoger al usuario entre dos volúmenes distintos de descarga de agua o mediante el paro voluntario de la descarga al volver a pulsar el botón.

Se debe implementar un programa educativo constante que integre a estudiantes, docentes, trabajadores administrativos y operativos que explique la forma de comportamiento de las personas respecto a la utilización de los recursos para su conservación y manejo sustentable, y es necesaria la implementación de un reglamento que explique las normas pero que también

establezca las sanciones y penalizaciones para los que hagan mal uso de los recursos.

5.3.3. Estrategias para la gestión de residuos

- Implementar una normativa que obligue a cualquier establecimiento dentro de la facultad a comprar únicamente artículos a partir de productos reciclados.
- Reciclar artículos colocando botes de basura ecológicos rotulados para cada tipo de desecho, en cada salón de clase y pasillo, contratando a empresas certificadas que recojan y lleven estos residuos a lugares de reciclaje.
- Capacitaciones y seminarios a estudiantes y colaboradores de la facultad sobre la manera adecuada del manejo y reducción de residuos. Promover estas prácticas por medio de anuncios de interés público.

5.3.4. Estrategias para el consumo de papel

Para la reducción del consumo de papel se plantea promocionar las plataformas virtuales existentes y la creación del máximo número de aplicaciones web, para acercarse lo más posible a los procedimientos de la administración electrónica.

Cuando sea imprescindible la impresión, se recomienda hacerlo a doble cara, con papel reciclado, con los modos de ahorro de tinta, así como permitir únicamente la utilización de hojas recicladas para la entrega de cualquier tarea o trabajo, también en los centros de fotocopiado. Además se aumentará

progresivamente el número de contenedores de recolección selectiva de papel para favorecer más el reciclado.

CONCLUSIONES

1. En esta investigación se determinó la huella de carbono del agua y los residuos sólidos de la Facultad de Ingeniería. Las emisiones de carbono anual de residuos sólidos producidos diariamente en los edificios y sus alrededores sobrepasan un 24 % a las emisiones producidas por el consumo de agua. Esto ubica a los residuos sólidos como el factor más crítico entre los dos y el que debe reducirse prontamente.
2. A través de procedimiento científico se identificaron las fuentes con mayor emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) en la Facultad de Ingeniería, los cuales son: combustibles, residuos sólidos, agua y GLP. Cuantitativamente se identificó a los combustibles como la fuente de más emisiones de GEI, seguida por los residuos sólidos.
3. Los resultados obtenidos son indicadores que se pueden establecer para la medición mensual o anual de la emisión de CO₂ por edificio o como facultad en general, para la verificación de cualquier mejora.
4. La gestión de los recursos naturales en la Facultad de Ingeniería está afectando de una manera negativa al estudiantado, debido a que los servicios en donde se encuentran no son óptimos. En los baños de los edificios se pueden encontrar lavamanos inservibles con llaves que no funcionan, algunas donde no fluye agua y otras que siempre se mantiene abiertas o siempre están goteando, de igual manera sucede con los mingitorio e inodoros, el aire es pesado y el calor es agobiante en ciertas horas del día, debido a la alta emisión de CO₂ provocada por los

automóviles que circulan constantemente alrededor de la facultad. Se debe emprender medidas de mitigación que permitan abrir la puerta a proyectos de mejora energética que traen consigo reducción de costos, de agua, combustibles fósiles o de gas, así como manejo de residuos o reducción de costos totales y mejoras en la productividad educativa.

5. Para llevar a cabo la concepción de estrategias que mitiguen la emisión de Gases de Efecto Invernadero en la Facultad de Ingeniería, primero que nada se deben identificar las fuentes con mayor emisión, entre las cuales se tiene en primer lugar los combustibles fósiles y en segundo lugar los residuos sólidos. Conociendo las fuentes críticas mediante un proceso estratégico basado en el *Discurso del método*, de René Descartes, que indica que “dado un problema, si lo rompemos en partes pequeñas y solucionamos cada parte, podemos solucionar el problema entero”, tomando esto como principio se puede mitigar la emisión de GEI tomando acciones edificio por edificio para así tener un resultado representativo.
6. Con base en la sistematización de la información que fue recopilada y calculada a lo largo de esta investigación, se determinó que puede utilizarse como una base concreta para la implementación de un sistema de gestión ambiental en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como lo muestra la tabla XXIV, según la fuente: críticas de CO₂ de la Facultad de Ingeniería, que se presenta en la página 139 del apéndice.

RECOMENDACIONES

1. Dentro de un proyecto tan importante como lo es disminuir las emisiones de CO₂ en la Facultad de Ingeniería, siempre se busca una mejora continua, por lo que es recomendable implementar un equipo de desarrollo sostenible.
2. La Facultad debe medir periódicamente las emisiones e implementar nuevos procedimientos, estrategias, campañas o capacitaciones que ayuden a tener resultados positivos en estas mediciones.
3. Intervenir en las prácticas ambientales que se están llevando a cabo en el edificio T-3, más que todo en la cantidad de residuos sólidos que se producen en el mismo.
4. Es importante que, al momento de tomar acciones para la mitigación de emisiones de CO₂, se involucre a miembros de la facultad de todo nivel, alumnos, catedráticos, escuelas y trabajadores administrativos.
5. Para tener resultados más eficientes se debe retroalimentar a toda la facultad frecuentemente, sectorizando por edificios y asignando escuelas responsables de cada uno.
6. Llevar un tablero de resultados que sea visible para todos y esté ubicado en puntos estratégicos de cada edificio, tomando los resultados de esta investigación como indicador a mejorar. Este tablero debe indicar cómo

disminuye o aumenta la cantidad de CO₂ en la Facultad de Ingeniería y cuáles son las fuentes críticas que están afectando al resultado.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAÑAS, José Simeón. *Oración encomiástica ofrecida por el Rector y Claustro de la Real y Pontificia Universidad de Guatemala al Excmo. Señor don José de Aycinena y Carrillo*. Guatemala: Real y Pontificia Universidad de San Carlos de Guatemala, 1812. 64 p.
2. CRUTZEN, P. *On the role of methane in atmospheric chemistry*. *AMBIO* vol. 24. No. 1. P. 52-55.
3. DOMENECH, X. *Química ambiental*. Madrid, España: Ediciones Miraguano, 1994. 254 p.
4. ENKERLIN, E. C.; Cano, G.; et al. *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. México: Thomson Editores Internacional, 1997. 657 p.
5. ESPÍNDOLA, C. *Huella de carbono, parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas*. *Información tecnológica*, V 23. No. 1.2012. 192 p.
6. Fundación Entorno. *¿Qué es y para qué sirve la huella de carbono?* 2013. [en línea]. <<http://www.accionco2.es/guia/calcular-la-huella-decarbono.html>>. [Consulta: 30 de marzo de 2018].
7. GRAEDEL, T.E.; CRUTZEN, P. *Una atmósfera cambiante*. New Jersey, Estados Unidos: Investigación y Ciencia, 1989. 196 p.

8. HANSEN, James; RUEDY, Russell; et al. *A closer look at United States and global surfacetemperature change*. [en línea]. <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2001/2001_Hansen_etal.pdf>. [Consulta: marzo de 2018].
9. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Escenarios de cambio climático*. [en línea]. <http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1721>. [Consulta: julio de 2018].
10. JIMÉNEZ HERRERO, L. M. *Enfoques metodológicos para el cálculo de la huella de carbono*. España: Estudios Gráficos Europeos, S.A., 2010. 63 p.
11. MUÑOZ, Alvaro; SALINAS, Reyes; SANSANO DEL CASTILLO, Irene. *Implantación de un sistema de gestión ambiental en una universidad como herramienta de formación*. [en línea]. <<http://www.cma.gva.es/contenidoHtmlArea/contenido/56545/cas/UPV.pdf>>. [Consulta: agosto de 2018].
12. NIETO ANDERSON, Claudia. *Responsabilidad Social Universitaria*. [en línea]. <<https://www.unah.edu.hn/uploaded/content/category/1545153038.pdf>>. [Consulta: 4 de agosto de 2018].
13. Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Causas del cambio climático*. [en línea]. <http://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes_of_climate_change.php>. [Consulta: septiembre 2018].

14. PACHAURI, Rajendra. Cambio climático: *informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático*. Ginebra: Cambridge University Press, 2007. 104 p.
15. PADGETT, Paul; STCINEMANN, Anne C. *Comparison of carbon calculators*. Estados Unidos: Environmental impact assessment review, 2008. 115 p.
16. PANDEY, Divya A. *Carbon footprint*. Estados Unidos: Environmental monitoring and assessment, 2010. 200 p.
17. ProChile. *Programa de fomento a las exportaciones chilenas. Huella de carbono* [en línea]. <http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/huella_de_carbono.php>. [Consulta: febrero de 2018].
18. Proyecto LifesinerGía. *Sistema de gestión ambiental*. [en línea]. <http://www.lifesinerGía.org/formacion/curso/12_sistemas_de_gestion_ambient.pdf>. [Consulta: febrero de 2018].
19. RANGANATHAN, Janet; CORBIER, Laurent. *The Greenhouse Gas Protocol Initiative: the foundation for sound and sustainable climate strategies*. [en línea]. <<http://www.ghgprotocol.org/>>. [Consulta: junio de 2018].
20. RAYNAUD, Dominique; et al. *The ice core record of greenhouse gases*. Estados Unidos: Science, 1993. 259 p.

21. United Nations Framework on Climate Change. *Kyoto Protocol*. [en línea]. <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. [Consulta: junio de 2018].

APÉNDICE

Apéndice 1. Fuentes críticas de CO2 de la Facultad de Ingeniería

Cantidad de kilogramos de residuos sólidos producidos por día		Kg CO2	Consumo de combustible por edificio en litros		Kg CO2/Litro
Edificio T-3	2 087,31	1 273,26	Edificio T-3	509,34	1222,42
Edificio T1	1 278,49	779,88	Edificio T-5	359,83	863,58
Edificio T-6	285,22	173,99	Edificio T-1	276,03	662,47
Edificio T-5	261,01	159,22	Edificio T-7	193,88	465,31
Edificio T-7	240,28	146,57	Edificio T-4	90,37	216,88
Edificio T-4	60,42	36,86	Edificio T-6	65,72	157,73
Total	4 212,73	2 569,77	Total	1 495,17	3 588,40

Fuente: elaboración propia.

