

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Huella de Carbono de la Universidad San Francisco de
Quito año 2017 y Plan de Mitigación de Emisiones
de CO₂-eq**

Proyecto de Investigación

Paola Madeline Pérez Sierra
Ingeniería Ambiental

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del
título de Ingeniera Ambiental

Quito, 31 de agosto de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Huella de Carbono de la Universidad San Francisco de Quito año 2017 y
Plan de Mitigación de Emisiones de CO₂-eq**

Paola Madeline Pérez Sierra

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Melanie Valencia, MS.

Firma del profesor:

Quito, 31 de agosto de 2018

Derechos de autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Paola Madeline Pérez Sierra

Código: 00117505

Cédula de Identidad: 1002974887

Lugar y fecha: Quito, 31 de agosto de 2018

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la vida y todas las bendiciones que me regala día a día. Por su amor y misericordia y por ser siempre la base fundamental en mi vida y mi guía para hacer las cosas de la mejor manera.

A mis padres por transmitirme la fe, por ser mi apoyo constante para siempre seguir adelante, por sus consejos y por siempre hablar conmigo en la verdad. Por su amor incondicional que ha sido lo único que me ha permitido superar todos los obstáculos durante mi vida.

A mi hermano Juan por ser mi modelo a seguir de constancia, esfuerzo, generosidad, humildad y buen corazón. Por llenarme siempre de alegría y sonrisas que me animan sobre todo en los momentos difíciles. Por ser un gran hermano mayor y siempre cuidarme.

A mis abuelos por regalarme mucho amor y siempre preocuparse por mi bienestar durante toda mi vida.

A mis amigos Doménica, Nicolás, Pamela, Michelle, Camila por hacer de mi vida universitaria la etapa más linda de mi vida. Por siempre apoyarme en cada situación que hemos atravesado y por demostrarme que los amigos incondicionales y verdaderos si existen.

A Jorge por ser un gran apoyo durante mi investigación, por su amor, paciencia y alegría en cada etapa que hemos atravesado. Por llenarme siempre de mucha felicidad.

A mis primos Karen, Alejandro y Nicolás por estar siempre pendientes de mí y nunca dejarme sola. Por sus abrazos y sonrisas siempre que las necesito.

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres y a mi hermano. A mis padres por regalarme mucho amor, por el esfuerzo y comprensión que me han brindado durante mi vida universitaria.

A mi hermano por su paciencia, amor y cuidado en todo momento.

RESUMEN

El Calentamiento Global se encuentra directamente relacionado con las tendencias de aumento de gases de efecto invernadero (GEI), provenientes de emisiones principalmente antropogénicas. Los GEI son químicamente muy estables y persistentes en la atmósfera por escalas de tiempo muy largas, por lo que pueden influenciar en el clima a largo plazo. Por esta razón es necesario que las instituciones realicen el cálculo de sus emisiones de GEI, y conozcan las fuentes de las que proviene cada gas y la intensidad en la que contribuyen con el cambio climático. La huella de carbono es un indicador que se utiliza para estimar las emisiones de estos GEI en unidades de CO₂-eq. El objetivo de este estudio es calcular la huella de carbono de la USFQ año 2017, realizar un recálculo de la línea base año 2012 y a partir de la comparación entre estos años proponer un plan de mitigación para reducir las emisiones de CO₂-eq de la universidad. El cálculo de la huella de carbono se realizó tomando en cuenta tres alcances. En el primer alcance se calcularon las emisiones directas por el uso de combustibles y GLP de fuentes móviles y fijas, además las emisiones fugitivas de equipos de aire acondicionado. En el segundo alcance se calcularon las emisiones relacionadas al consumo eléctrico de la universidad y en el tercer alcance se calcularon las emisiones indirectas relacionadas al transporte terrestre, transporte aéreo, generación de residuos y consumo de agua. El recálculo de la línea base se realizó utilizando la misma metodología. Se obtuvo que en el año 2017 se emitieron 4312 t CO₂-eq y 0.05 t CO₂-eq/m², mientras que en el año 2012 se emitieron 5047 t CO₂-eq y 0.1 t CO₂-eq/m². Se observa una reducción de emisiones entre el año base y el periodo de estudio actual, lo que se atribuye principalmente al cambio en la modalidad de estudio de la universidad en la que se dictan clases solo de lunes a jueves. Se estima que en el año 2017 se ahorraron en total 1183 t CO₂-eq. Por último se propone un plan de mitigación enfocado en reducir las emisiones por el transporte terrestre que utiliza la comunidad universitaria, promoviendo una movilidad más eficiente mediante el planteamiento de una ruta de bus personalizada para la USFQ.

Palabras claves: huella de carbono, CO₂-eq, gases de efecto invernadero, recálculo, plan de mitigación, reducción de emisiones, ruta de bus, movilidad eficiente.

ABSTRACT

Global Warming is directly related to the greenhouse gases (GHG) increase trends, which mainly come from anthropogenic emissions. GHGs are chemically very stable and persistent in the atmosphere for very long time scales, so they can influence climate in a long-term. For this reason it is necessary for institutions to calculate their GHG emissions, and know the sources from which each gas comes and the intensity in which they contribute to climate change. The carbon footprint is an indicator that is used to estimate the emissions of these GHG in CO₂-eq units. The objective of this study is to calculate the carbon footprint of USFQ year 2017, perform a recalculation of the baseline year 2012 and from the comparison between these years propose a mitigation plan to reduce the CO₂-eq emissions of the university. The calculation of the carbon footprint was made considering three scopes. In the first scope, direct emissions were calculated for the use of fuels and LPG from mobile and stationary sources, as well as fugitive emissions from air conditioning equipment. In the second scope, emissions related to the university electricity consumption were calculated and in the third scope, indirect emissions related to land transport, air transport, waste generation and water consumption were calculated. The recalculation of the baseline was done using the same methodology. It was obtained that in the year 2017, 4082 t CO₂-eq and 0.05 t CO₂-eq/m² were emitted, while in 2012, 5047 t CO₂-eq and 0.1 t CO₂-eq/m² were emitted. There is a reduction in emissions between the base year and the current study period, which is attributed mainly to the change in the study modality of the university in which classes are taught only from Monday to Thursday. It is estimated that in the year 2017 were saved a total of 1183 t CO₂-eq. Finally, a mitigation plan is proposed, focused on reducing emissions of transportation used by the university community, promoting more efficient mobility through a personalized bus route for the USFQ.

Keywords: carbon footprint, CO₂-eq, greenhouse gases, recalculation, mitigation plan, emission reduction, bus route, efficient mobility.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	6
Abstract	7
Introducción	12
La USFQ y su responsabilidad de reportar sus emisiones	16
Materiales y Métodos	17
Cálculo del Alcance 1	18
Emisiones Directas de Fuentes Fijas	18
Emisiones Directas de Fuentes Móviles.....	20
Emisiones Fugitivas de Equipos de Aire Acondicionado.....	21
Cálculo del Alcance 2.....	23
Emisiones relacionadas al consumo de energía eléctrica.....	23
Cálculo del Alcance 3	27
Emisiones relacionadas a la movilidad de estudiantes, profesores y administrativos	27
Emisiones relacionadas al transporte aéreo usado por estudiantes, profesores y administrativos	28
Emisiones relacionadas a la generación de residuos de la universidad	29
Emisiones relacionadas a la generación de aguas residuales	30
Cálculo de emisiones del campus GAIAS y Tiputini.....	31
Planteamiento de un año base y política	32
Recálculo del año base	35
Desarrollo de Planes de Mitigación.....	36
Cálculo del carbono orgánico retenido en el suelo del Tiputini como parte de la mitigación y adaptación al cambio climático.....	37
Resultados y Discusión	38
Emisiones Alcance 1	39
Emisiones por fuentes fijas	39
Emisiones por fuentes móviles.....	40
Emisiones Fugitivas.....	43
Emisiones Alcance 2	45
Emisiones Alcance 3	51

Emisiones por el uso de transporte de la comunidad universitaria	51
Emisiones por transporte aéreo relacionado a diferentes actividades de la comunidad universitaria	58
Emisiones por generación de residuos	60
Emisiones por generación de aguas residuales.....	62
Emisiones Campus GAIAS y Tiputini	64
Huella de Carbono de la USFQ año 2017.....	66
Recálculo de la línea base y comparación	68
Plan de Mitigación	73
Mitigación de Emisiones por la concesión del área del campus Tiputini.....	86
Conclusiones y Recomendaciones	87
Referencias Bibliográficas.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes Fijas de Emisiones de CO ₂ -eq	39
Tabla 2. Emisiones de GEI por fuentes fijas	40
Tabla 3. Fuentes Móviles de emisiones de CO ₂ -eq	41
Tabla 4. Emisiones de GEI por fuentes móviles	42
Tabla 5. Emisiones de GEI por emisiones fugitivas relacionadas a equipos de refrigeración y aire acondicionado	44
Tabla 6. Factores de Emisión por generación eléctrica del Ecuador	47
Tabla 7. Emisiones de GEI por consumo eléctrico	48
Tabla 8. Emisiones de GEI de estudiantes por uso de transporte terrestre	54
Tabla 9. Emisiones de GEI de profesores y administrativos por uso de transporte terrestre	55
Tabla 10. Emisiones de GEI de la comunidad universitaria por uso de transporte aéreo	59
Tabla 11. Emisiones de GEI por generación de residuos de la USFQ	62
Tabla 12. Emisiones de GEI por generación de aguas residuales de la USFQ	63
Tabla 13. Emisiones de los alcances 1 y 2 del campus GAIAS Y Tiputini	64
Tabla 14. Huella de Carbono de la USFQ año 2017	67
Tabla 15. Recálculo y actualización de la Huella de Carbono de la USFQ año 2012	69
Tabla 16. Estimación de las Emisiones Reducidas año 2017	72
Tabla 17. Propuestas del Plan de Mitigación	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo eléctrico mensual de la USFQ en kWh	45
Figura 2. Emisión mensual de CO ₂ – eq.....	48
Figura 3. Mapa de movilidad de la comunidad de la Universidad San Francisco de Quito	52
Figura 4. Distribución del transporte usado por estudiantes de la USFQ.....	53
Figura 5. Distribución del transporte usado por profesores y administrativos de la USFQ.....	53
Figura 6. Composición de los residuos de la USFQ año 2017	60
Figura 7. Mapa de los Sectores con mayor densidad de estudiantes que usan automóvil	78
Figura 8. Mapa de las Rutas elegidas para el recorrido del bus de la Universidad San Francisco de Quito	79
Figura 9. Mapa de la Ruta del Bus para Escalón Lumbisí-La Primavera	81
Figura 10. Mapa de la Ruta del Bus para Tanda-Miravalle	82
Figura 11. Mapa de la Ruta del Bus para Tumbaco	83

Introducción

En la actualidad, el planeta Tierra está enfrentando un fenómeno conocido como cambio climático. Mediante este fenómeno se conoce que la temperatura media de la Tierra se encuentra cambiando, ya sea aumentando o disminuyendo según la región (USEPA, 2017), teniendo muchas consecuencias no solo sobre la biodiversidad del planeta, el clima, los recursos naturales, sino también sobre la calidad de vida humana y la economía global, siendo de esta forma un campo de investigación muy amplio (Caballero, Lozano y Ortega, 2007).

El Calentamiento Global se encuentra directamente relacionado con las tendencias de aumento de Gases de Efecto Invernadero, o por sus siglas, GEI (IPCC,2014). El clima de la Tierra se encuentra determinado por la energía que proviene del sol y por la reflexión, absorción y emisión de energía entre la atmósfera y la superficie del planeta (IPCC, 2007). El aumento de la concentración de los GEI en la atmósfera afecta al clima global ya que estos aumentan la retención de onda corta proveniente del planeta y se incrementa la temperatura superficial permitiendo así que el balance radiativo del sistema climático de la Tierra sufra un desequilibrio (IPCC, 2007). En su mayoría los GEI son producidos de forma natural en el planeta, pero el incremento en su concentración en la atmósfera en los últimos años se debe principalmente a las actividades humanas (IPCC, 2007).

Los gases de efecto invernadero más importantes, por su absorción selectiva a diferentes longitudes de onda y por su efecto sobre el calentamiento del planeta, son el CO₂ dióxido de carbono, CH₄ metano y N₂O óxido nitroso (IPCC, 2007). Se ha observado un gran aumento en la concentración atmosférica de estos GEI, que provienen

principalmente de emisiones antropogénicas desde la era pre-industrial. Alrededor del 40% de estas emisiones han sido absorbidas por la atmósfera (IPCC, 2014). Estos GEI son químicamente muy estables y persistentes en la atmósfera por escalas de tiempo muy largas que pueden ir desde varias décadas hasta siglos, siendo así que las emisiones de estos gases pueden influenciar en el clima a largo plazo. Uno de los grandes problemas que se enfrenta con el aumento en la concentración de estos gases es que al ser muy persistentes se mezclan bien en la atmósfera, de esta manera no pueden ser eliminados rápidamente (IPCC, 2007).

El CO₂ es el gas que causa más preocupación ya que el incremento en sus emisiones y concentraciones es mayor a la de los otros gases. Este gas no tiene un periodo determinado de vida porque se encuentra en un ciclo continuo entre la atmósfera, la biósfera y los océanos y su eliminación involucra procesos complejos y en diferentes escalas de tiempo (IPCC, 2007). De las emisiones totales antropogénicas de GEI, 77% corresponden al CO₂ para el año 2004 y para años más recientes este porcentaje no ha variado significativamente (SAC, 2012).

Se ha visto necesario el cálculo de las emisiones de CO₂, que nos permita conocer las fuentes de las que proviene el gas y la intensidad en la que estamos contribuyendo con el cambio climático. En este contexto, se ha desarrollado el cálculo de la huella de carbono; un indicador utilizado para estimar las emisiones de CO₂ directas e indirectas que se relacionen a una actividad o al uso y ciclo de vida de un producto o un servicio (USEPA,2017).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos -USEPA- ha enfatizado el cálculo de la huella de carbono, mediante la aplicación de un método de cálculo, que

considera tres alcances. El primer alcance se refiere a las emisiones de forma directa provenientes de fuentes que son propiedad de una entidad o que se encuentren controladas por la misma, por ejemplo las emisiones de fuentes estacionarias que se encuentran dentro de una institución (USEPA, 2017). El segundo alcance toma en cuenta las emisiones que son de forma indirecta por ejemplo las provenientes de la generación eléctrica comprada por la institución. El tercer alcance se refiere a las emisiones de GEI que no están directamente controladas por la institución pero que se relacionan con las actividades que deben realizar, por ejemplo el transporte aéreo y terrestre usado por los integrantes de la institución para realizar estudios o negocios (USEPA, 2017).

Los dos primeros alcances son típicamente usados para el cálculo de la huella de carbono (USEPA, 2017). Sin embargo, se ha observado continuamente que el tercer alcance, que contiene el resto de las emisiones indirectas relacionadas a la organización, es el más importante para poder entender el impacto real generado ya que en este se calcula la mayoría de emisiones de CO₂ de una organización (CEPAL, 2010). La importancia del cálculo de los tres alcances propuestos se encuentra en el conocimiento real de las emisiones de CO₂ y partiendo de esto, iniciar acciones de reducción de contaminación y por ende de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (USEPA, 2017).

Para realizar planes de reducción de emisiones es importante primero efectuar un análisis de las emisiones de CO₂ a través del tiempo, y de esta manera poder también comparar la evolución de estas emisiones observando si existe un aumento o disminución de las mismas. Como parte de estos planes, también puede ser planteado un porcentaje de emisiones que se desee disminuir, y además se puede detallar el

alcance con el que se desea trabajar para disminuir las emisiones (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004).

Las compañías prestadoras de servicios o diferentes actividades que involucren la emisión de GEI necesitan seguir y evaluar sus emisiones a través del tiempo. Esto es necesario como respuesta a los objetivos que deben cumplir, como es el de reportar sus emisiones, establecer emisiones de diferentes gases de efecto invernadero y manejar los riesgos y oportunidades atribuidas a la emisión de cada gas. Este proceso debe ser seguido para abordar las necesidades que pueden presentar inversores u otras partes interesadas (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004).

Se debe comparar de forma significativa y consistente las emisiones a lo largo del tiempo, es decir que se debe comparar las emisiones entre dos o varios años siempre y cuando se utilicen los mismos mecanismos y factores de emisión para el cálculo de estas emisiones. Es por esto que es necesario establecer un dato base de desempeño con el que se pueda comparar las emisiones actuales, este dato es denominado año base. Las emisiones del año base pueden ser determinadas de un solo año o realizar un promedio de las emisiones de varios años. Lo importante de la determinación de un año base es que para que estas puedan ser comparadas y se realice un seguimiento uniforme de las emisiones a través del tiempo, el año base muchas veces necesita ser recalculado a medida que las empresas o instituciones experimenten cambios estructurales significativos, como adquisiciones, fusiones, ampliaciones, etc (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004).

La USFQ y su responsabilidad de reportar sus emisiones

La Universidad San Francisco de Quito USFQ, como institución innovadora y que se desarrolla continuamente ha visto la necesidad de ser sostenible y también formar parte de las universidades líderes que incorporan los aspectos ambientales como parte de su funcionamiento (USFQ, 2014). Debido a eso es que desde el año 2012 se ha empezado con informes de sostenibilidad, planes de manejo ambiental de los residuos de la universidad, cálculo de la huella de carbono (USFQ, 2015), cálculos de las emisiones de CO₂ relacionadas al transporte (Naciph, Rivadeneira y Cazorla, 2013) y el cálculo de la segunda huella de carbono para el año 2015 (Salazar, 2015). En este último estudio se encontró que para el primer alcance la universidad emitió 328.24 t CO₂, para el segundo alcance 1063,29 t CO₂ y para el tercer alcance 4833,88 t CO₂ (Salazar, 2015).

Para el año 2017 se necesita realizar una actualización de la huella de carbono de la universidad para conocer los impactos que han generado algunos cambios en la institución, entre los que se encuentran el cambio de modalidad en los horarios de clase resultando en que solo se dicte clases de lunes a jueves, mientras que el viernes sea un día designado a investigación y congresos realizados por la universidad. En este año también se tomará en cuenta la ampliación del campus de la universidad, mediante el edificio Hayek y el aumento de estudiantes desde el último cálculo de la huella de carbono. Se considerará también la huella de carbono relacionada a la estación de biodiversidad del Tiputini y el campus GAIAS ubicado en Galápagos.

Considerando todos los cambios estructurales y de funcionamiento que ha sufrido la universidad en los últimos años también es necesario elegir, plantear y realizar un recálculo del año base.

Este trabajo de investigación busca calcular las emisiones de CO₂-eq de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2017, relacionadas a todas las actividades que se encuentren en el alcance 1, 2 y 3 propuestos por la USEPA. Es importante calcular las emisiones de CO₂-eq del transporte terrestre y aéreo, generación de residuos, generación de aguas residuales, consumo de energía y combustibles relacionados a la USFQ.

Además, es necesario evaluar y comparar las emisiones de la USFQ a lo largo del tiempo, requiriendo de esta manera un recálculo de las emisiones del año base para posteriormente proponer un plan de reducción de emisiones de CO₂-eq.

Materiales y Métodos

Esta investigación necesita calcular y evaluar las emisiones de CO₂-eq relacionadas a las distintas actividades de la USFQ. Tomando en cuenta los tres alcances de la metodología de la EPA para calcular la huella de carbono, se calcularon las emisiones directas por el uso de combustibles y GLP de fuentes móviles y fijas, además las emisiones fugitivas de equipos de aire acondicionado. Se calcularon también las emisiones relacionadas al consumo eléctrico de la universidad y las emisiones indirectas relacionadas al transporte terrestre, transporte aéreo, por la generación de residuos y consumo de agua.

Cálculo del Alcance 1

Emisiones Directas de Fuentes Fijas

Se determinan las fuentes fijas de emisiones de la USFQ como los dos generadores de energía que usan diésel y las cocinas, laboratorios y duchas que usan GLP como combustible para su funcionamiento.

Para calcular las emisiones de estas fuentes se utiliza la metodología propuesta por Parra en el Reporte de Sostenibilidad de la USFQ año base 2012 (2014). Primero se obtiene la cantidad total de diésel y GLP consumida en el año 2017. El consumo de estos combustibles fue obtenido mediante la facturación de su compra proveídos por la oficina de Planta Física de la USFQ.

Además se obtienen las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O haciendo uso de los factores de emisión para cada gas, a continuación se multiplica cada resultado por el potencial de calentamiento global de cada gas para poder obtener la emisión total en unidades de CO₂-eq. De esta manera, las emisiones relacionadas al consumo de diésel por los generadores se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$E_d = [(C \times Pc \times \rho \times f_{CO_2}) \times PCG_{CO_2}] + [(C \times Pc \times \rho \times f_{CH_4}) \times PCG_{CH_4}] + [(C \times Pc \times \rho \times f_{N_2O}) \times PCG_{N_2O}] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

E_d = Emisión total de CO₂-eq por el consumo de diésel[t]

C = Consumo total de diésel durante al año 2017 [gal]

Pc = Poder calorífico del diésel, utilizando un valor de 4.3×10^5 [TJ/kg]

ρ = densidad del diésel, utilizando un valor de 3.19 [kg/gal]

f_{CO_2} = factor de emisión de CO₂ 74100 [kg/TJ]

f_{CH_4} = factor de emisión de CH₄ 10 [kg/TJ]

f_{N_2O} = factor de emisión de N₂O 0.6 [kg/TJ]

PCG_{CO_2} = Potencial de Calentamiento Global del CO₂, 1 (IPCC, 2014)

PCG_{CH_4} = Potencial de Calentamiento Global del CH₄, 28 (IPCC, 2014)

PCG_{N_2O} = Potencial de Calentamiento Global del N₂O, 265 (IPCC, 2014)

Las emisiones relacionadas al consumo de GLP por cocinas, laboratorios y duchas se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{GLP} = [(C \times Pc \times f_{CO_2}) \times PCG_{CO_2}] + [(C \times Pc \times f_{CH_4}) \times PCG_{CH_4}] + [(C \times Pc \times f_{N_2O}) \times PCG_{N_2O}] \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

E_{GLP} = Emisión total de CO₂-eq por el consumo de GLP [t]

C = Consumo total de GLP durante el año 2017 [kg]

Pc = Poder calorífico del GLP, utilizando un valor de 4.73×10^5 [TJ/kg]

f_{CO_2} = factor de emisión de CO₂, 63100 [kg/TJ]

f_{CH_4} = factor de emisión de CH₄, 5 [kg/TJ]

f_{N_2O} = factor de emisión de N₂O, 0.1 [kg/TJ]

PCG_{CO_2} = Potencial de Calentamiento Global del CO₂, 1 (IPCC, 2014)

PCG_{CH_4} = Potencial de Calentamiento Global del CH₄, 28 (IPCC, 2014)

PCG_{N_2O} = Potencial de Calentamiento Global del N₂O, 265 (IPCC, 2014)

Emisiones Directas de Fuentes Móviles

Se determinan las fuentes móviles de emisiones de la USFQ a la flota de vehículos que usa la universidad como transporte de uso interno y directamente controlado por la institución. Según el tipo de vehículo, se usan como combustibles gasolina o diésel.

Para calcular las emisiones de estas fuentes se utiliza la metodología propuesta por Parra en el Reporte de Sostenibilidad de la USFQ año base 2012 (2014). Primero se obtiene la cantidad total de gasolina y diésel consumida por cada vehículo en el año 2017. El consumo de estos combustibles fue obtenido mediante el registro de compra proveídos por la oficina de Planta Física de la USFQ.

Se obtienen las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O haciendo uso de los factores de emisión para cada gas, a continuación se multiplica cada resultado por el potencial de calentamiento global de cada gas para poder obtener la emisión total en unidades de CO₂-eq. De esta manera, las emisiones relacionadas al consumo de gasolina o diésel por el uso de combustibles para el transporte interno de la universidad se calcula utilizando la ecuación 1 (Ec. 1) antes descrita, teniendo en cuenta que para la gasolina los valores cambian de la siguiente manera:

E_g = Emisión total de CO₂-eq por el consumo de gasolina [t]

C = Consumo total de gasolina durante al año 2017 [kg]

P_c = Poder calorífico de la gasolina, utilizando un valor de 4.43×10^5 [TJ/kg]

ρ = densidad de la gasolina, utilizando un valor de 2.79 [kg/gal]

f_{CO_2} = factor de emisión de CO_2 , 69300 [kg/TJ]

f_{CH_4} = factor de emisión de CH_4 , 10 [kg/TJ]

f_{N_2O} = factor de emisión de N_2O , 0.6 [kg/TJ]

PCG_{CO_2} = Potencial de Calentamiento Global del CO_2 , 1 (IPCC, 2014)

PCG_{CH_4} = Potencial de Calentamiento Global del CH_4 , 28 (IPCC, 2014)

PCG_{N_2O} = Potencial de Calentamiento Global del N_2O , 265 (IPCC, 2014)

Los factores de emisión de cada gas y para cada tipo de combustible se obtienen a partir de datos de la IPCC, Green House Gas Protocol del año 2017 y los valores de Potencial de Calentamiento Global para cada gas se obtienen del quinto reporte (AR5) de la IPCC que brinda los datos más actualizados de potenciales de calentamiento global para gas y los que se deberían usar para reportar las emisiones.

Emisiones Fugitivas de Equipos de Aire Acondicionado

Según las guías del IPCC y Green House Gas Protocol, cualquier emisión de gases como HFCs, PFCs, SF_6 y NF_3 también deben ser incluidas en el inventario y cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (EPA, 2014). Muchos de estos gases son usados generalmente para diferentes procesos como en laboratorios o en equipos de aire acondicionado y refrigeración (EPA, 2014). Es por esto que es importante tomar en

cuenta las emisiones fugitivas de los gases de equipos de refrigeración y aire acondicionado que utiliza la universidad.

Existen varios métodos para calcular las emisiones fugitivas de estos gases de efecto invernadero, sin embargo según el IPCC y la EPA se sugiere que se opte por el método de balance de masas que es más preciso y disminuye el margen de error entre las emisiones reales y las calculadas ya que no se hace uso de factores de emisión, que para el caso de emisiones fugitivas estos factores tienen mucha incertidumbre por el tipo de gas, el proceso en el que se use y el dispositivo que lo contenga. El método de balance de masas de emisiones fugitivas sugiere que para calcular estas emisiones primero se determina el tipo de gas de efecto invernadero que se ha comprado y en qué proceso se ha usado, a continuación se determina la cantidad comprada de cada gas en unidades de masa. Se asume que toda la masa del gas comprado en el período de estudio es la cantidad de gas que se usa y se emite en el mismo período, sin embargo si la institución tiene un plan de uso de estos gases para varios años se divide la cantidad de gas comprado para el número de años en el que se usará y se obtiene la cantidad que se usa y se emite en el período de estudio. (IPCC, 2006. EPA, 2014). Por otro lado en el caso de los gases usados para equipos de aire acondicionado y refrigeración la cantidad comprada en el período de estudio es la cantidad de gas que ha sido emitida en el período de estudio, ya que las recargas de gas que se realizan en estos equipos solo son requeridas cuando existen fugas del gas refrigerante que se encuentra en cada equipo (EPA, 2014. Calderas, Lambert, Montero, Campbell y Leyva, 2009).

La cantidad total de cada gas recargado en los equipos de refrigeración y aire acondicionado se obtuvo de los registros de mantenimiento de planta física. Se suma la

cantidad comprada de cada tipo de gas y se multiplica el total por su respectivo potencial de calentamiento global para conocer las emisiones en unidades de CO₂-eq (EPA, 2014).

$$E = (Rt_1 \times PCG_{R22}) + (Rt_2 \times PCG_{R410}) + \dots \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

E = Emisión total [t CO₂-eq]

Rt_1 = cantidad total de refrigerante (R 22) recargado en cada equipo [t]

Rt_2 = cantidad total de refrigerante (R 410) recargado en cada equipo [t]

PCG_{R22} = potencial de calentamiento global del gas R22, 1760 (IPCC, 2014).

PCG_{R410} = potencial de calentamiento global del gas R410, 3170 (IPCC, 2014).

Según los registros de planta física, los gases usados para las recargas en los equipos de aire acondicionado y refrigeración son el R22 y R410. Sin embargo para futuros cálculos el tipo de gas usado en cada equipo puede cambiar.

Cálculo del Alcance 2

Emisiones relacionadas al consumo de energía eléctrica

Para calcular las emisiones de CO₂-eq emitido debido a la compra de energía eléctrica, se necesita obtener los datos de consumo eléctrico de la universidad para el período de estudio en unidades de kWh. Esta información se obtiene a partir de la facturación de energía eléctrica proveída por la oficina de finanzas de la universidad.

En el caso del edificio Hayek, que se encuentra anexo al centro comercial Paseo San Francisco, se necesita encontrar la cantidad de kWh consumidos solo por el edificio en

el período de estudio. Mediante entrevistas a los técnicos de electricidad que trabajan en el centro comercial se conoce que hay facturación del consumo eléctrico para cada aula y zona específica del edificio, de las cuales se obtiene el consumo en kWh.

Sin embargo la universidad no paga por el consumo eléctrico de los servicios de gradas eléctricas y ascensores que se encuentran en el edificio, por lo que no se puede obtener este dato de la facturación. Tomando en cuenta que estos servicios son compartidos con las personas que hacen uso de las instalaciones de SIME que se encuentran debajo del edificio, se debe estimar la cantidad de kWh que usan estos servicios mediante la ocupación y uso de los estudiantes, profesores y administrativos pertenecientes solo a la universidad.

Para estimar consumo eléctrico de un ascensor primero se debe tomar en cuenta las características del mismo, el tiempo de uso real y el tiempo que se encuentra detenido. Según expertos en asesoramiento de la empresa ascensores y más, las características de los ascensores utilizados para el edificio Hayek que son de última generación, utilizan aproximadamente una potencia de 4.5kW/h (Ascensores y Más, 2018). Según un estudio realizado sobre el uso de ascensores y su consumo de energía, el tiempo de uso o funcionamiento real de un ascensor, es decir cuando lleva personas de un piso a otro, en el día es aproximadamente de 30 minutos (Massoni, 2012). Por otro lado se estima que el tiempo que se encuentra encendido en el edificio listo para ser utilizado es aproximadamente 15 horas al día, desde las 6 de la mañana hasta las 9 de la noche. A continuación se calculó el consumo de energía de cada ascensor por día, siguiendo lo establecido por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2016) que establece que el uso de energía en kWh se obtiene multiplicando el

tiempo de uso por el valor de la potencia, descrito anteriormente, a este valor se le agrega el tiempo que se encuentra detenido por el 90% (Massoni, 2012) del valor de la potencia del ascensor.

A partir del valor obtenido anteriormente, se realiza una estimación del consumo eléctrico por mes para cada ascensor del edificio. Primero se obtuvo los días laborales de la universidad de cada mes a partir del calendario académico del año 2016-2017 (USFQ, 2017) y se multiplicó el número de días por el consumo de electricidad diario. A continuación se toma en cuenta la ocupación del edificio por estudiantes, profesores y administrativos del Hayek, obtenido de Velasco (2017), del cual se calcula la ocupación media diaria de lunes a jueves y de los días viernes por separado ya que el día viernes no tiene la misma ocupación del edificio por el cambio de modalidad de clases. Se toma también en cuenta la ocupación de los usuarios del SIME, 7000 personas al mes, con los que son compartidos estos servicios. De estos datos se obtiene la ocupación total del edificio.

Por otro lado, no todas las personas que se encuentran en el edificio hacen uso de los servicios de ascensores y gradas eléctricas, sino que se ha observado que existe preferencia de uso de ascensores por mayor comodidad y cercanía, por lo que se estima que el 60% de las personas que ocupan el edificio utilizan los ascensores y el 40% utilizan gradas eléctricas. De esta manera, se calcula el 60% de la ocupación total del edificio, asumiendo que este número de personas harían uso de los ascensores.

Por último se calculó el porcentaje de estudiantes, profesores y administrativos correspondientes al total de ocupación del edificio y se multiplicó por el valor del

consumo eléctrico de ascensores para conocer su uso real de energía correspondiente solo a la comunidad universitaria.

Para el caso de las gradas eléctricas se realiza el mismo procedimiento, solo que en este caso se toma en cuenta que el consumo eléctrico de un sistema de gradas eléctricas convencional es de aproximadamente 112.5 kWh al día, tomando en cuenta que la potencia nominal para su funcionamiento es de 7.5 kW (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2016) y que del total de personas, el 40% utilizan gradas eléctricas.

A continuación se realiza el cálculo del factor de emisión de CO₂ del año 2017 para el Ecuador con el método de cálculo propuesto por Parra (2013). Siguiendo el mismo método de cálculo también se obtienen factores de emisión de CH₄ y N₂O debido a la generación de electricidad para el Ecuador.

A continuación se multiplica la cantidad total de kWh usados por la universidad en el período de estudio por cada factor de emisión obtenido y por su respectivo potencial de calentamiento global para obtener las emisiones totales en unidades de CO₂-eq.

$$E = (Ct \times fe_{CO_2} \times PCG_{CO_2}) + (Ct \times fe_{CH_4} \times PCG_{CH_4}) + (Ct \times fe_{N_2O} \times PCG_{N_2O}) \text{ Ec.4}$$

Donde:

E = Emisión total de CO₂-eq por compra de energía eléctrica [t]

Ct = Consumo total de electricidad en el período de estudio [kWh]

fe_{CO_2} = factor de emisión de CO₂, 188.82 [g/kWh]

fe_{CH_4} = factor de emisión de CH₄, 0.02 [g/kWh]

f_{N_2O} = factor de emisión de N_2O , 0.0013 [g/kWh]

PCG_{CO_2} = Potencial de Calentamiento Global del CO_2 , 1 (IPCC, 2014).

PCG_{CH_4} = Potencial de Calentamiento Global del CH_4 , 28 (IPCC, 2014).

PCG_{N_2O} = Potencial de Calentamiento Global del N_2O , 265 (IPCC, 2014).

Cálculo del Alcance 3

Emisiones relacionadas a la movilidad de estudiantes, profesores y administrativos

Para calcular las emisiones relacionadas al transporte terrestre que usan estudiantes, profesores y administrativos se realizó una encuesta de movilidad a la comunidad universitaria, de la cual se obtuvo datos de la ubicación geográfica exacta de donde vienen los estudiantes a la universidad, el medio de transporte usado, las veces por semana que usan el medio de transporte y en el caso de los vehículos particulares se obtuvo los datos de la marca, modelo, año y combustible usado por el vehículo.

A partir de estos datos se obtuvo la distancia recorrida por cada persona desde su ubicación domiciliaria hasta la universidad, haciendo uso de las herramientas de Google Maps. Se obtuvo también la distancia total recorrida por semana y el rendimiento de cada vehículo para calcular la cantidad de combustible usado al año por vehículo.

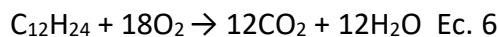
El cálculo de emisiones se obtiene mediante el principio de conservación de materia (Naciph, et al., 2013), en la que el combustible usado por cada vehículo producirá CO_2 .

Para obtener las emisiones de cada vehículo se usan ecuaciones de las reacciones químicas teóricas relacionadas a cada combustible.

Para la gasolina se utiliza la siguiente reacción:



Para el diesel se utiliza la siguiente reacción:



Mediante la encuesta solo se obtuvo la información del 46% de la comunidad universitaria, por lo que para obtener las emisiones totales se realiza una extrapolación para la cantidad total de estudiantes, profesores y administrativos del año 2017.

Para obtener las emisiones de CH_4 y N_2O se usa la cantidad de combustible utilizado total y la Ec. 1 para emisiones de fuentes móviles, tomando en cuenta el tipo de combustible usado.

Emisiones relacionadas al transporte aéreo usado por estudiantes, profesores y administrativos

Para calcular las emisiones relacionadas al uso de transporte aéreo por estudiantes, profesores y administrativos, se utilizó la información brindada por la oficina de programas internacionales de todos los vuelos realizados por estudiantes, locales y de intercambio y profesores y administrativos de la USFQ.

Para calcular las emisiones de CO_2 se necesita la distancia recorrida por cada avión, la cual se obtuvo mediante la calculadora de emisiones de carbono de la ICAO, como propone Naciph y otros (2013). La calculadora de la ICAO muestra el tipo de avión usado en cada ruta, que concuerdan con los que usa cada aerolínea dentro de los viajes nacionales e internacionales. Esto permite obtener datos reales de distancia y factor de emisión, para cada uno de los vuelos realizados según el avión y tipo de asiento usado.

Con los datos obtenidos a partir de la herramienta de ICAO y la ruta usada por cada estudiante, se cuenta el número de estudiantes que viajan en la misma ruta y con el

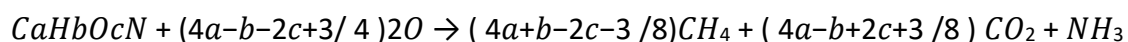
factor de emisión obtenido para cada una de ellas, se calculan las emisiones totales de CO₂ para cada ruta. A continuación se suman las emisiones totales de cada una de las rutas usadas y se obtienen las emisiones totales de CO₂ para todo el año.

Esta herramienta también brinda la cantidad de combustible usado en el vuelo, valor que se utiliza para obtener la cantidad de CH₄ y N₂O que se emite por la quema de este combustible, utilizando los factores de emisión para cada gas.

Emisiones relacionadas a la generación de residuos de la universidad

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ relacionadas a la generación de residuos sólidos urbanos se utiliza la metodología propuesta por Peñafiel en el Reporte de Sostenibilidad de la USFQ año base 2012 (2014). Primero se realiza la caracterización de los residuos de la universidad durante una semana laboral. Para el período de estudio, también se obtienen los datos de la cantidad y tipos de residuos reciclados o usados para alimentación de animales o para compostaje.

A partir de estos datos se puede estimar de forma teórica la fórmula de la composición de los residuos, usando también valores de húmedas, biodegradabilidad, sólidos volátiles y sólidos biodegradables. A continuación se puede estimar teóricamente la cantidad de CO₂ y CH₄ emitidos a partir de la siguiente ecuación:



Ec.7

Donde se deben tomar en cuenta los coeficientes a, b, c obtenidos a partir de la composición química de los residuos obtenidos anteriormente.

Emisiones relacionadas a la generación de aguas residuales

Para calcular las emisiones de CO₂-eq emitido debido a la generación de aguas residuales se utiliza la metodología desarrollada por Ochoa en el Reporte de Sostenibilidad de la USFQ año base 2012 (2014), a partir de lo propuesto por Metacalf y Eddy (2003).

Para esto se necesita obtener los datos de consumo de agua de la universidad para el período de estudio. Esta información se obtiene a partir de la facturación de agua, proveída por la oficina de finanzas de la universidad. Mediante las facturas se saca el valor mensual de consumo de agua de la universidad en litros, sin embargo para el edificio Hayek el consumo de agua debe ser estimado ya que se encuentra ubicado en el centro comercial Paseo San Francisco y paga una cuota mensual fija al centro comercial sin importar el consumo, por lo que no existe información real del consumo de agua del edificio.

En consecuencia, primero se estimó el consumo diario de agua de la universidad per cápita a partir de los datos del consumo mensual de agua de la universidad y del número de estudiantes en cada semestre. A partir de la estimación del consumo diario de agua por estudiante y tomando en cuenta la ocupación del edificio Hayek, obtenido de Velasco (2017) para cada día de la semana se estimó el consumo de agua del edificio Hayek para el período de estudio.

Después de obtener el consumo anual de agua de la universidad, se obtiene la cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales, para lo que se toma en cuenta los valores de DQO y biodegradabilidad que normalmente presentan estas aguas, que se calcula de la siguiente manera:

$$MO = Ct \times DQO \times b \text{ Ec.8}$$

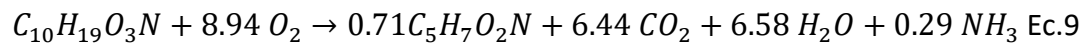
MO = materia orgánica contenida en las aguas residuales [g]

Ct = consumo total de agua [l]

DQO = 0.5 [g/l] (Metacalf y Eddy, 2003)

b = biodegradabilidad, 0.9 (Metacalf y Eddy, 2003).

A continuación se calculan las emisiones de CO_2 teniendo en cuenta que la materia orgánica contenida en las aguas residuales, se degrada y emite CO_2 . Estas emisiones se calculan de manera teórica mediante la siguiente ecuación:



Cálculo de emisiones del campus GAIAS y Tiputini

Las emisiones para los campus ubicados en Galápagos y Tiputini se obtuvieron siguiendo el mismo procedimiento usado para calcular el alcance 1 y 2 del campus ubicado en Cumbayá.

Para el campus GAIAS, el alcance 1 se calcula tomando en cuenta el consumo de combustible de las fuentes de emisión móviles relacionadas al transporte de los estudiantes, profesores y administrativos en diferentes vehículos, taxi y moto. Este consumo se encuentra manejado directamente por el campus. En cuanto al alcance 2, se obtiene tomando en cuenta el consumo eléctrico del campus obtenido de las planillas de luz.

Para el campus Tiputini, el alcance 1 se calcula tomando en cuenta el consumo de combustibles de fuentes de emisión móviles relacionadas al transporte de los estudiantes, profesores y administrativos en diferentes vehículos y lanchas manejadas directamente por el campus. En cuanto al alcance 2, la energía consumida en el campus es producida mediante un generador de energía por lo que se considera como parte del alcance 1 al ser una fuente fija de emisiones, la cual consume diésel.

Planteamiento de un año base y política

Según el documento guía para realizar inventarios de los gases de efecto invernadero “The Green House Gas Protocol” (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004) la institución que realice un recálculo de su línea base puede seguir las reglas y pautas recomendadas en este protocolo, sin embargo por cuestiones de pedido y obtención de información y reglas internas, puede desarrollar un enfoque propio pero que se debe seguir de manera consistente.

De esta manera se plantea un año base tomando en cuenta que puede ser el primer año en el que se realizó el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, o huella de carbono. Según el protocolo también se puede realizar un promedio de emisiones en los años en los que se ha realizado este cálculo (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004). Además se debe tomar en cuenta que el recálculo del año base debe ser realizado siempre que existan cambios estructurales significativos que resulten en un cambio del 10% en las emisiones totales.

A partir de la guía se propone una política y metodología para el recálculo de la línea base para la Universidad San Francisco de Quito:

- Se debe realizar un recálculo cuando exista un nuevo Reporte de Evaluación de la IPCC que presente una actualización de los potenciales de calentamiento global. De esta manera las emisiones de gases de efecto invernadero serán actualizadas al reporte vigente y pueden ser comparables con las emisiones que se calculen para el año actual.
- Cada vez que se calcule la huella de carbono de la USFQ se deben tomar en cuenta los mismos factores de emisión para cada fuente de emisión, obtenidos del IPCC (2017) o https://ghgprotocol.org/calculation-tools#sector_specific_tools_id.

Mediante esta herramienta se pueden tener los factores de emisión confiables propuestos por la misma guía del protocolo de los gases de efecto invernadero. Estos factores de emisión también serán usados para el recálculo de la línea base y de esta manera las emisiones podrán ser comparadas con el paso de los años y cada vez que se mida la huella de carbono. Estas herramientas de cálculo han sido desarrolladas por el protocolo de los gases de efecto invernadero y son los datos más confiables a usar para los inventarios de emisiones ya que cada uno de ellos ha sido desarrollado con los mejores y más extensos métodos y probados por expertos en las industrias. Para cada herramienta existen manuales que se deben seguir para un correcto cálculo y comprensión.

Existen diferentes herramientas dependiendo del sector del cual se calcule las emisiones, para el caso de la universidad se debe usar:

- a) Cross-sector tools: se aplica a muchas industrias y compañías, independiente del sector (Hoja de cálculo actualizada al 2017).

- Todos los puntos anteriores se deben realizar siempre y cuando exista un cambio en el 10% de la huella de carbono entre el año base y el año que se calcule, ya que el protocolo de gases de efecto invernadero propone que este porcentaje presenta una diferencia significativa.
- Si existen cambios estructurales significativos y de gran magnitud en la universidad es necesario un recálculo de la línea base.
- Si existen cambios significativos en los métodos usados para el cálculo de la huella de carbono es necesario un recálculo de la línea base.
- El recálculo de la línea base se realizará solo con los alcances 1 y 2, ya que estos alcances son los que obligatoriamente se deben reportar según el protocolo de los gases de efecto invernadero, además que los datos para el cálculo de las emisiones de estos alcances son manejados directamente por la USFQ, por lo que la información es confiable y controlada. Por otro lado las emisiones del alcance 3 al no ser controladas por la institución no se pueden recalcular con tanta facilidad ni confiabilidad cada vez que se necesite realizar esta actividad, es por esto que para el alcance 3 se deja definida como línea base las emisiones encontradas para el año 2017 ya que son los datos más reales, confiables, detallados y con menor incertidumbre que se tienen hasta el momento.
- Se debe realizar un recálculo de la línea base cuando se realice el cálculo de emisiones que no se hayan tomado en cuenta en años anteriores. En el caso del 2017 se toma en cuenta las emisiones de los refrigerantes usados para los sistemas de aire acondicionado de la universidad. Es así que se añade también el cálculo de las emisiones de CO₂ de los refrigerantes también en el año 2012, y

para esto se investiga y se recolecta los datos de los refrigerantes usados para este año base.

- Se deben actualizar y cambiar los factores de emisión y potenciales de calentamiento global al mismo valor para el año base y el año de estudio y recalculan la cantidad de CO₂-eq del año base con estos datos actualizados.

Para el caso del consumo eléctrico se debe calcular el factor de emisión de cada año ya que es el dato real para el país.

- Las emisiones de los campus Tiputini y Galápagos se calculan por primera vez para el año 2017 por lo que se considera como línea base para estos campus las emisiones de este año. De esta manera estas emisiones no pueden ser comparadas con años anteriores.

Recálculo del año base

Es necesario recalculan las emisiones de gases de efecto invernadero del año 2012, como año base de cálculo, para poder comparar estos resultados con los obtenidos para el año 2017. El recálculo de emisiones del año base se realiza utilizando el mismo procedimiento y método que el propuesto para el año 2017 para los alcances 1 y 2, por lo que para el año base se incluyen también el cálculo de las emisiones gases como CH₄, N₂O y HFCs.

En el caso del alcance 3 se realiza el recálculo solo actualizando las emisiones de CH₄ y N₂O, y usando los potenciales de calentamiento global de la AR5 para cada gas. En este caso no se puede realizar un recálculo siguiendo la metodología para el año 2017 ya que no se tiene la información para seguir el mismo procedimiento de cálculo actual.

Para poder realizar una comparación entre las emisiones del año base y el período actual de cálculo es necesario tomar en cuenta la adquisición del edificio Hayek. Tomando en cuenta que el edificio no existía cuando se realizó el cálculo del año base, se realiza el cálculo de emisiones en t CO₂ por m² para cada año, solo en base a este indicador se podrá comparar de la mejor manera las emisiones de cada año.

Desarrollo de Planes de Mitigación

A partir del recálculo de la línea base, el cálculo de emisiones del período de estudio y su comparación se pueden plantear objetivos de reducción de emisiones para futuros años, tomando en cuenta los alcances que aportan con mayor porcentaje de emisiones en la huella de carbono.

Sin embargo es necesario evaluar las opciones más viables para disminuir las emisiones ya que la universidad debe priorizar sus estrategias en base a costo-beneficio

Las emisiones por transporte que usan estudiantes, profesores y administrativos, correspondientes al alcance 3, causan mayor preocupación por ser uno de los mayores porcentajes de aporte en la huella de carbono a lo largo de los años. Es por esto que se ha decidido tener un mayor enfoque en reducir estas emisiones. Por otro lado es necesario también enfocarse en disminuir las emisiones por consumo de electricidad y se ha visto necesario implementar un mejor manejo y control de los gases que usan los equipos de refrigeración y aire acondicionado en la universidad.

Para el caso de la reducción de emisiones por transporte se realiza un análisis de la movilidad de estudiantes, profesores y administrativos usando datos de su ubicación,

tipo de transporte usado y distancia recorrida hasta la universidad para proponer soluciones que les permitan transportarse a la universidad de una manera segura pero también más eficiente. Se hizo uso de los programas ArcGis y Google Maps para procesar la información geográfica proporcionada en la encuesta de movilidad y se estudia los sectores con mayor densidad de personas que se transportan a la universidad manejando un auto en el que solo viaja una persona. Se trabaja con este grupo de personas ya que son las que usan el tipo de transporte más ineficiente y a partir de sus datos de ubicación y distancia hasta la universidad se analiza maneras más eficientes de transportarse a la universidad. Dependiendo del sector en el que se ubiquen se propone opciones como caminar, usar bicicleta o transportarse en una línea de bus propia de la universidad que podría ser implementada en futuros semestres. En cada una de las opciones es necesario buscar incentivos que les permita a los estudiantes, profesores y administrativos elegir estas nuevas opciones de transporte.

Cálculo del carbono orgánico retenido en el suelo del Tiputini como parte de la mitigación y adaptación al cambio climático

Como parte de este estudio se analiza también la cantidad de carbono orgánico retenido en el suelo del área de la estación de biodiversidad Tiputini, zona protegida por la universidad y usada con fines de investigación y aprendizaje.

El área protegida por la universidad alcanza las 744 ha de bosque húmedo tropical, las cuales absorben CO₂ en el suelo y flora que abarca toda la zona. A partir del mapa GSOC de la FAO (2018) se puede visualizar según la ubicación, la cantidad de carbono orgánico del suelo que es retenido (FAO, 2018). Mediante la información del mapa se obtiene la

cantidad de carbono orgánico retenido en la zona en la que se encuentra la estación de biodiversidad Tiputini en unidades de Mg/ha, que es equivalente a t/ha. Para conocer la cantidad total de COS en el suelo del Tiputini se aplica la siguiente ecuación:

$$C = COS \times a \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

C = cantidad de carbono orgánico total retenido en el suelo del Tiputini [t]

COS = carbono orgánico retenido en el suelo 63.64 [t/ha] (FAO, 2018)

a = área protegida por la USFQ, 744 [ha]

Resultados y Discusión

Se calculó la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2017. En el cálculo de este año se tomaron en cuenta las emisiones del alcance 1, 2 y 3 de diferentes fuentes de emisión y de los siguientes gases de efecto invernadero: CO₂, CH₄, N₂O. Además para la actualización de este período de estudio se tomaron en cuenta también las emisiones de los gases usados en equipos de refrigeración y aire acondicionado, encontrando que el gas más usado para estos equipos es el R22 (CHClF₂) y en pocos equipos el R410 (CHF₂CF₃).

Se encontró que la huella de carbono año 2017 es de 4082.15 t CO₂-eq totales y 0.41 t CO₂-eq por persona, por lo que disminuyó en comparación con la del año base 2012 que después de hacer el recálculo se obtuvo que la huella de carbono año base es 5047 t CO₂-eq totales y 0.81 t CO₂-eq por persona. Los cambios estructurales que ha sufrido la

universidad para tener un campus más eficiente, el cambio de horario de clases y los planes de sostenibilidad que se han aplicado en estos años se ven reflejados en esta reducción de emisiones en CO₂-eq.

Emisiones Alcance 1

Las emisiones directas de CO₂-eq de la universidad se dan por las fuentes fijas y móviles que se encuentran controladas directamente por la universidad. Se encontró que estas emisiones están dadas principalmente por la quema de diésel y GLP, utilizados en diferentes procesos y equipos de la universidad. Las emisiones de GEI de este alcance aportan en un 4.85 % a la huella de carbono del año 2017.

Emisiones por fuentes fijas

Se determinaron las fuentes fijas de emisiones de CO₂ – eq para la Universidad San Francisco de Quito como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Fuentes Fijas de Emisiones de CO₂-eq

Fuentes	Combustible Usado
Generadores de electricidad	Diesel
Cocinas de restaurantes	GLP
Laboratorios	GLP
Duchas	GLP

Las emisiones directas de gases de efecto invernadero relacionadas a estas fuentes representan el 1.52 % de la huella de carbono del año 2017, las cuales se muestran en la tabla 2.

Durante el período de estudio, se emitieron en total 65.34, 0.15 y 0.032 t CO₂-eq de CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente. Los resultados reflejan que las emisiones de CH₄ y de N₂O por fuentes fijas, no representan un gran porcentaje dentro de las emisiones de CO₂-eq para el primer alcance, sin embargo es importante que la USFQ conozca el aporte y la magnitud de estas emisiones, además de que tienen que ser incluidos dentro de los inventarios de GEI como se propone en la guía del protocolo de gases de efecto invernadero (2004).

Tabla 2. Emisiones de GEI por fuentes fijas

Fuentes	Consumo de Combustible	Emisiones CO₂ [t]	Emisiones CH₄ [t]	Emisiones N₂O [t]	Emisiones CO₂-eq [t]
Generadores de electricidad	280 [gal]	2.85	3.84×10^{-4}	2.30×10^{-5}	2.87
Cocinas de restaurantes	20519 [kg]	61.24	4.85×10^{-3}	9.70×10^{-5}	61.40
Laboratorios y Duchas	420.5 [kg]	1.25	9.90×10^{-5}	1.98×10^{-6}	1.26
Emisiones Totales [t CO₂-eq]					65.53

Emisiones por fuentes móviles

Se determinaron las fuentes móviles de emisiones de CO₂ – eq para la Universidad San Francisco de Quito como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Fuentes Móviles de emisiones de CO₂-eq

Fuentes	Número de vehículos	Combustible Usado
Flota de vehículos	23	Diésel y Gasolina

Estas fuentes móviles de emisión de GEI son los vehículos usados para los servicios internos de la universidad, entre los que se encuentran un bus para transportar a estudiantes de medicina desde el campus Cumbayá hasta el hospital de los Valles donde reciben clases. Este bus y una camioneta KIA son los únicos dos vehículos que usan diésel, los demás vehículos de la flota utilizan gasolina.

A partir de las fuentes de emisión se obtuvo las emisiones directas de gases de efecto invernadero como se muestran en la tabla 4. Las emisiones relacionadas a estas fuentes representan el 1.88 % de la huella de carbono del año 2017.

Durante el período de estudio, se emitieron en total 80.46, 0.31 y 0.18 t CO₂-eq de CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente. Estos resultados reflejan que las emisiones de CO₂ por fuentes móviles en unidades de CO₂-eq son mayores a las emisiones de CH₄ y N₂O. De la misma forma que lo observado para las fuentes fijas de emisión, las emisiones de CH₄ y de N₂O no representan un gran porcentaje dentro de las emisiones de CO₂-eq, sin embargo es importante que la USFQ conozca el aporte y la magnitud de estas emisiones, además de que tienen que ser incluidos dentro de los inventarios de GEI como se propone en la guía del protocolo de gases de efecto invernadero (2004).

Tabla 4. Emisiones de GEI por fuentes móviles

Fuentes	Consumo de Combustible [gal]	Emisiones CO₂ [t]	Emisiones CH₄ [t]	Emisiones N₂O [t]	Emisiones CO₂-eq [t]
Vehículos que consumen diesel	4120.69	41.94	0.01	3.39 x 10 ⁻⁴	42.19
Vehículos que consumen gasolina	4492.31	38.53	0.01	3.34 x 10 ⁻⁴	38.77
Emisiones Totales [t CO₂-eq]					80.96

Por otro lado, se puede también observar que las emisiones de CH₄ son casi iguales para los vehículos que consumen gasolina y diésel, lo que también ocurre con el N₂O. Estos resultados son coherentes ya que el consumo total anual de estos dos tipos de combustibles fue casi el mismo. Además el factor de emisión de CH₄ es el mismo para la gasolina y el diésel, lo que también ocurre para el factor de emisión de N₂O. Sin embargo las emisiones de CH₄ son mayores a las emisiones de N₂O, esto sucede ya que el factor de emisión de CH₄ es mayor al de N₂O resultando en emisiones casi nulas de este último gas.

Emisiones Fugitivas

Las emisiones fugitivas de la universidad San Francisco de Quito se determinaron a partir de los equipos de refrigeración y aire acondicionado que usan gases refrigerantes (HFCs) que deben ser tomados en cuenta cuando se realizan inventarios de las emisiones y huella de carbono (IPCC,2006).

El cálculo de las emisiones fugitivas ha sido calculado por primera vez para la USFQ en esta investigación. En consecuencia, este es el primer estudio que brinda resultados de las emisiones de CO₂-eq provenientes de los HFCs relacionados a la universidad.

Se encontró que las emisiones de fuentes fugitivas representan el 1.45 % de la huella de carbono para el año 2017. Estas emisiones se encuentran detalladas en la tabla 5.

Se puede observar que el gas refrigerante más común y generalmente más usado por los equipos de refrigeración y aire acondicionado de la universidad es el R-22 un HCFC conocido también por su fórmula química como CHClF₂. Generalmente este gas es usado en gran cantidad en los equipos de refrigeración y aire acondicionado sobre todo por sus propiedades termodinámicas y porque tiene un punto de fusión muy bajo (Refecol, 2014). Sin embargo este gas se encuentra en desuso ya que es uno de los HCFCs que causa daño a la capa de ozono (IDPI, 2017) por lo que debe ser sustituido por otros gases refrigerantes como HFCs que posean un menor potencial de calentamiento global (IPCC, 2003). Debido a que este gas es el más usado en los equipos de refrigeración de la universidad, la mayor cantidad de emisiones en t CO₂-eq se dan por el uso de este gas. Por otro lado, durante el período de estudio solo se realizó una recarga a un equipo de aire acondicionado con el gas R-410, por lo que las emisiones en t CO₂-eq son menores en comparación a las que se dan por el uso del otro gas.

Tabla 5. Emisiones de GEI por emisiones fugitivas relacionadas a equipos de refrigeración y aire acondicionado

Fuentes	Tipo de Refrigerante	Cantidad de Refrigerante recargado [t]	Emisiones CO₂-eq [t]
Equipos de Refrigeración y aire acondicionado con fugas o cambios de gas refrigerante	R22 (CHClF ₂)	0.029	51.2
Equipos de Refrigeración y aire acondicionado con fugas o cambios de gas refrigerante	R410 (CHF ₂ CF ₃)	0.0036	11.53
Emisiones Totales [t CO₂-eq]			62.73

Se debe tomar en cuenta que las emisiones de R-22 y R410 son realmente insignificantes, con valores de 0.029 y 0.036 t de gas respectivamente, sin embargo, estos gases poseen potenciales de calentamiento global muy altos, de órdenes de magnitud de los miles (IPCC, 2014), que permite que sus emisiones en t CO₂-eq incrementen de manera significativa.

La cantidad total usada de refrigerante para el período de estudio fue recolectada directamente de los documentos de inspección de los equipos de refrigeración de la

universidad y del uso y recarga de refrigerantes en cada equipo, información proporcionada y documentada por el departamento de Planta Física. De esta manera se obtienen datos reales del uso de refrigerantes para el período de estudio y se obtiene el resultado de las emisiones con menor incertidumbre.

Emisiones Alcance 2

Las emisiones de CO₂-eq de la universidad relacionadas a la compra de electricidad se midieron a partir del consumo eléctrico en kWh durante el período de estudio, presentado en la figura 1. Las emisiones de GEI de este alcance representan el 14.25 % de la huella de carbono del año 2017.

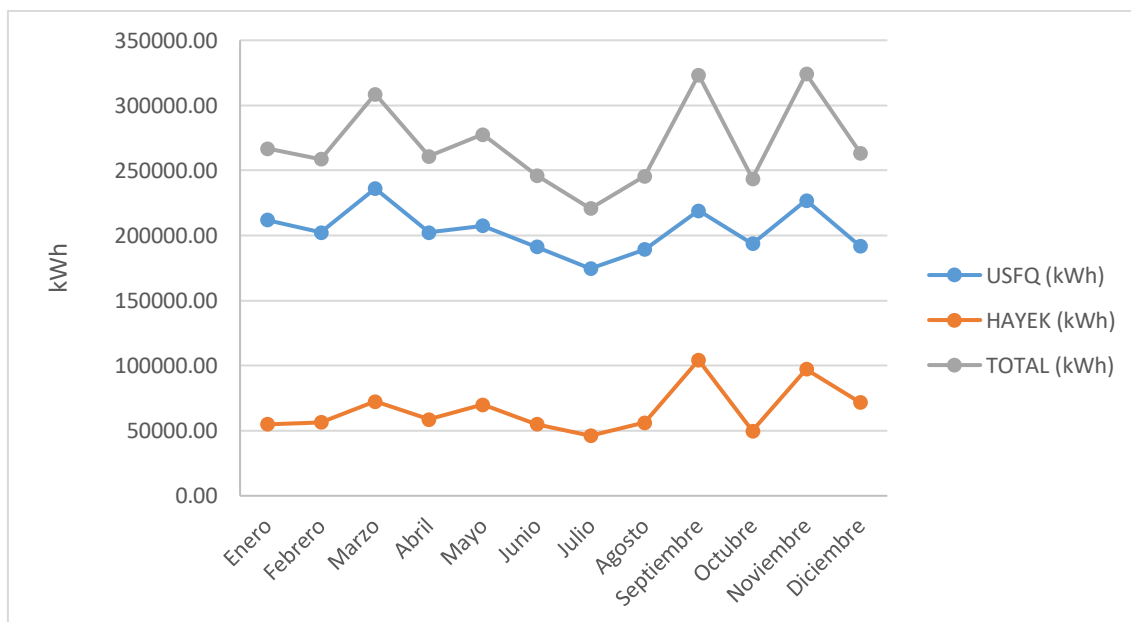


Figura 1. Consumo eléctrico mensual de la USFQ en kWh

La figura muestra el consumo eléctrico total de la USFQ, además del consumo de las instalaciones de la universidad y del edificio Hayek por separado, el cual representa el 32% del consumo eléctrico total para el año 2017.

Gran parte del consumo eléctrico del edificio Hayek se debe a las gradas eléctricas y ascensores que se encuentran en el mismo. El consumo eléctrico estimado de estos servicios se encuentra incluido en la figura 1, como parte del consumo eléctrico del edificio Hayek. Se estimó que el consumo eléctrico anual para ascensores y gradas eléctricas es de 36245 kWh y 68776 kWh respectivamente. Estos valores representan en total el 3.2 % del consumo eléctrico total de la USFQ del año 2017 y el 4.57 % y 8.67 % del consumo eléctrico total del edificio Hayek. Según estudios en los que se han realizado modelos del consumo de energía de ascensores, se conoce que estos servicios en conjunto con gradas eléctricas tienen un consumo de energía significativo dentro de los edificios, entre el 5% y 15% del consumo total (Al-Sharif, Peters y Smith, 2004), lo que demuestra que los valores obtenidos para el consumo eléctrico de estos servicios dentro del edificio Hayek son una muy buena aproximación y se encuentran dentro de este rango.

Por otro lado, se calcularon los factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O debido a la generación de electricidad del Ecuador utilizando datos del consumo de combustibles para la producción bruta de electricidad del año 2017 obtenidos del borrador de la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano Año 2017.

Los factores de emisión de CH₄ y N₂O no han sido calculados antes para el Ecuador, es por esto que para evaluar su validez se compara con los factores de emisión por electricidad que propone la IPCC (2017). Según la IPCC, los factores de emisión por CH₄ representan entre el 5 y el 12% del valor de los factores de emisión de CO₂ y entre el 1 y 2% para el caso del N₂O. En el caso de los factores de emisión obtenidos para el Ecuador los dos representan menos del 1% del valor de los factores de emisión de CO₂,

y de igual forma que en los factores de emisión de la IPCC para Estados Unidos, el del CH₄ es mayor al del N₂O.

Tabla 6. Factores de Emisión por generación eléctrica del Ecuador

Factor de Emisión de CO₂	188.82
[g CO₂ / kWh]	
Factor de Emisión de CH₄	0.02
[g CH₄ / kWh]	
Factor de Emisión de N₂O	0.0012
[g N₂O / kWh]	

Por otro lado el factor de emisión de CO₂ obtenido para el año 2017 tiene el menor valor comparado con los valores de los factores de emisión desde el año 2001 (Parra, 2013), y esto se debe principalmente a que en el año 2017 el consumo de combustibles para generación eléctrica disminuyó y en el caso específico de la Nafta, su uso fue nulo para generación eléctrica (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017). Esta disminución en el uso de combustibles se da principalmente por el inicio de operación de algunos proyectos de generación eléctrica como la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

A partir de los factores de emisión y el consumo eléctrico mensual en kWh se obtuvo las emisiones de CO₂, CH₄ Y N₂O mensual en unidades de CO₂-eq, fig. 2, y anual, tabla 7, del alcance 2 para el año 2017.

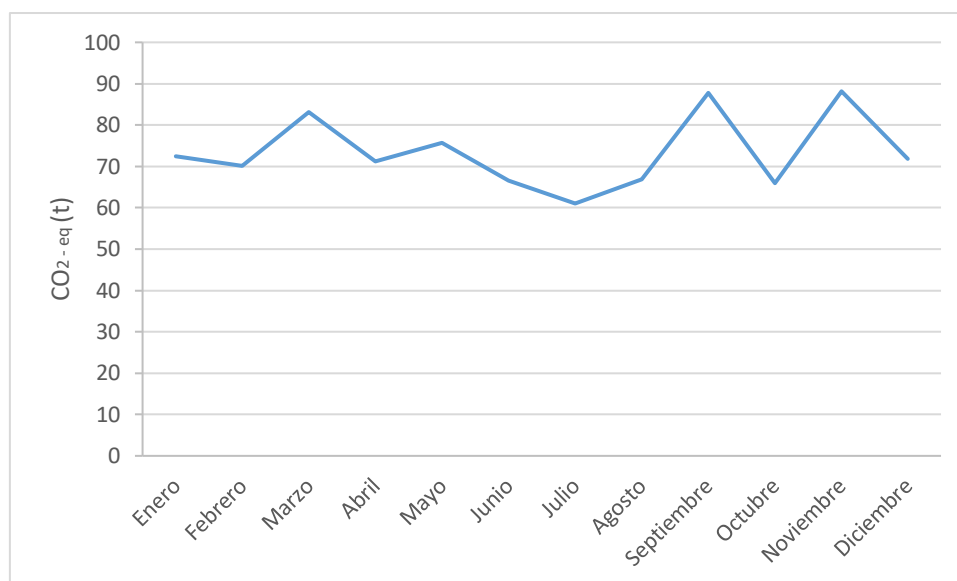


Figura 2. Emisión mensual de CO₂– eq

Tabla 7. Emisiones de GEI por consumo eléctrico

Consumo	Emisiones	Emisiones	Emisiones	Emisiones
anual	CO ₂ [t]	CH ₄ [t]	N ₂ O [t]	CO ₂ -eq [t]
eléctrico				
[kWh]				
3218469.50	611.71	0.065	3.89 x 10 ⁻³	614.56

Como se observa en la figura 2 las emisiones de CO₂-eq varían a lo largo del año, esto se encuentra relacionado directamente al consumo eléctrico mensual de la universidad, figura 1, mostrando que existen picos de emisión en los meses de marzo, septiembre y noviembre mientras que en el mes de julio existe la menor emisión. Este comportamiento se debe principalmente a las temporadas de actividad de la universidad durante el año 2017. Cada año escolar de la universidad se divide en dos semestres y un verano, las actividades del primer semestre empiezan desde finales del

mes de Agosto y terminan a mediados del mes de Diciembre, el segundo semestre inicia a mediados de enero y termina a finales de mayo y el período de clases de verano empieza a inicios de junio y termina a mediados de julio.

En el mes de Marzo, que pertenece al segundo semestre, se observa un pico en comparación a los otros meses de este semestre. En el mes de enero las actividades educativas iniciaron el día 9, por lo que se trabajó menos días, lo mismo ocurre en el mes de febrero debido a que tiene menos días que los otros meses del año y además se tuvo un receso de 2 días por el feriado de carnaval en todo el país. Durante el mes de abril se tuvo una semana de vacaciones de medio semestre por lo que también se trabajó menos días en las actividades de educación. Solo durante el mes de marzo se trabajaron los días completos del mes, como consecuencia existe un mayor consumo eléctrico en este mes en comparación con lo observado en los demás ya que los días que se trabajen en las diferentes actividades de la universidad se traducen en consumo eléctrico, por lo que a menos días de actividad, menor consumo de energía por las instalaciones de la universidad.

Durante el verano entre junio y julio se puede observar que existe una disminución en las emisiones, esto es debido a que disminuye el consumo de energía eléctrica durante este período. En el verano se dictan menos clases que en los semestres normales y tan solo el 39% de los estudiantes que asistieron durante enero-mayo, se inscribieron para recibir clases durante verano. Estos dos factores influyen en un menor uso de instalaciones de la universidad, por lo que existe también un menor consumo de energía eléctrica en estas instalaciones. Además de lo explicado anteriormente, en el mes de

julio existe el menor consumo debido a que también a que se tuvieron actividades educativas hasta el día 14 del mes.

Durante los meses de septiembre y noviembre se observan picos debido a que en el mes de agosto se iniciaron las actividades educativas desde el día 14 y en el mes de octubre se tuvo una semana de vacaciones de medio semestre, por otro lado en diciembre se tuvieron actividades normales hasta el día 20. Así como lo observado durante el período de enero-mayo, los meses que tuvieron actividades normales sin interrupciones son los meses con un mayor consumo eléctrico por tener un mayor tiempo de uso de las instalaciones de la universidad. Se puede observar también que las emisiones durante este período aumentan en comparación con los otros períodos educativos debido a que el número de estudiantes aumenta como consecuencia de que en el mes de agosto se inicia un nuevo año escolar. Aproximadamente la población estudiantil aumentó en un 9% en el período de agosto-diciembre, en comparación con enero-mayo. Este aumento de estudiantes en la universidad también permite un mayor uso de instalaciones y equipos durante mayor tiempo, lo que significa mayor consumo de energía eléctrica y aumento de emisiones.

Durante el período de estudio se emitieron en total 614.56, 1.81 y 1.03 t CO₂-eq de CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente. Mediante estos resultados se puede observar que las emisiones de CH₄ y de N₂O no representan un gran porcentaje dentro de las emisiones de CO₂-eq para el alcance 2, sin embargo es importante conocer la magnitud y el aporte de las emisiones de estos gases de efecto invernadero dentro de la huella de carbono de la universidad, además de que tienen que ser incluidos dentro de los inventarios de GEI como se propone en la guía del protocolo de gases de efecto invernadero (2004).

Las emisiones de los gases de CH₄ y N₂O para el alcance 1 y 2 son casi nulas, sin embargo al usar sus respectivos valores de potencial de calentamiento global sus emisiones aumentan ya que son valores muy altos. Sin embargo se ha visto necesario el cálculo de las emisiones de todos los GEI de la USFQ ya que en años pasados no se ha realizado, además se destaca la importancia de conocer la magnitud de las emisiones de todos los gases para sugerir si se debería realizar este mismo cálculo en años posteriores.

Emisiones Alcance 3

Según la guía del protocolo de gases de efecto invernadero (2004), las emisiones del alcance 3 no son obligatorias de reportar, sin embargo para este estudio se han tomado en cuenta las emisiones de GEI debido al transporte terrestre, aéreo, a la generación de residuos y a la generación de aguas residuales de la universidad.

Las emisiones de CO₂-eq relacionadas a las actividades mencionadas anteriormente no se encuentran controladas directamente por la universidad, sin embargo aportan en un 80.89 % a la huella de carbono del año 2017, lo que resulta en la mayor contribución de emisiones para el período de estudio.

Emisiones por el uso de transporte de la comunidad universitaria

Las emisiones relacionadas al uso de transporte terrestre y movilidad de estudiantes, profesores y administrativos de la universidad se calcularon a partir de una encuesta realizada a toda la comunidad universitaria. El total de estudiantes, profesores y administrativos para el período en el que se realizó la encuesta fue de 9912 personas, la encuesta fue respondida por 4148 de la comunidad universitaria, muestra significativa

con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 1%. De esta manera se obtuvo que el alcance de la encuesta fue del 42% de toda la comunidad universitaria.

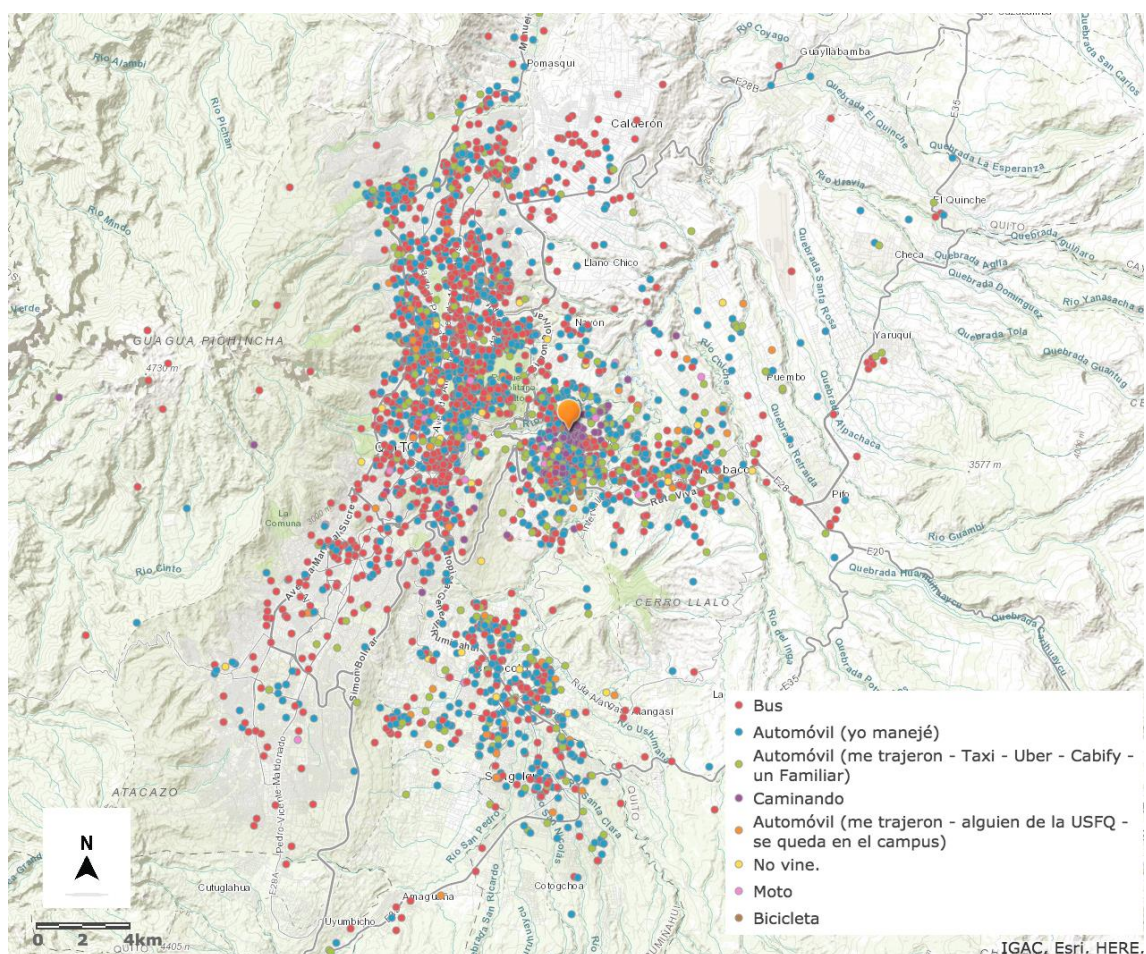


Figura 3. Mapa de movilidad de la comunidad de la Universidad San Francisco de Quito

La encuesta permitió encontrar información geográfica sobre la movilización de estudiantes, profesores y administrativos hasta y desde la universidad hacia sus viviendas, y el tipo de transporte que cada uno utiliza. Mediante el análisis de estos datos se obtuvo mapas que permitieron entender de mejor manera el uso de transporte y las distancias recorridas. Toda esta información permitió encontrar las emisiones de GEI de la muestra recogida en la encuesta y posteriormente extrapolar el cálculo para obtener el total de emisiones relacionadas al transporte usado por los estudiantes,

profesores y administrativos de la USFQ. Estos resultados se detallan en la tabla 8 y 9 respectivamente, además se obtiene un mapa de movilidad como se indica en la figura 3 y la distribución y tipo de transporte usado como se indica en la figura 4 y 5.

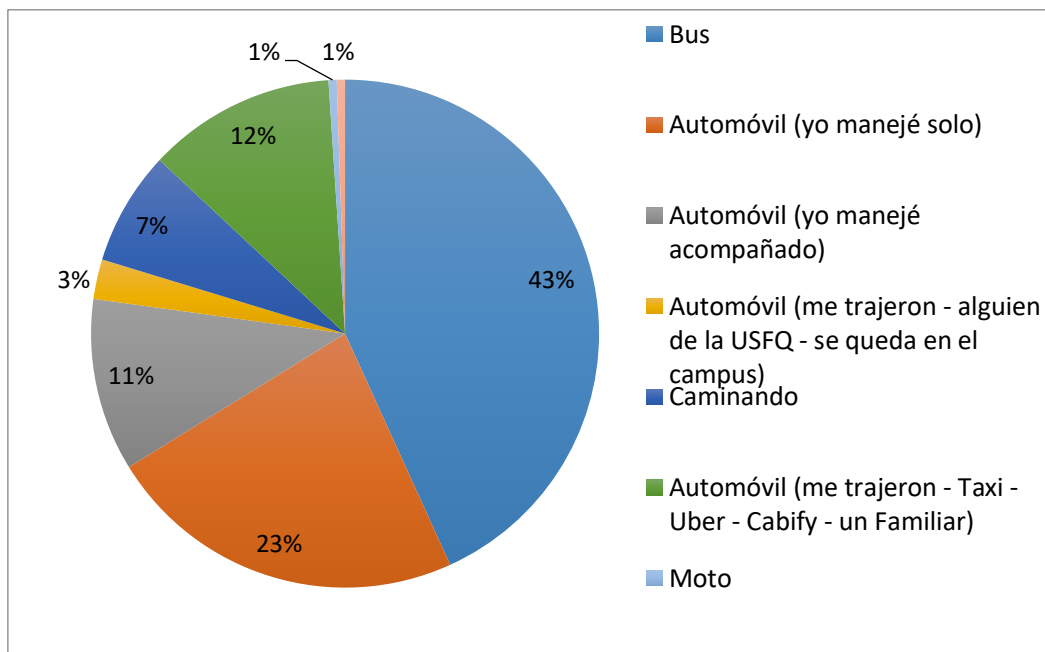


Figura 4. Distribución del transporte usado por estudiantes de la USFQ

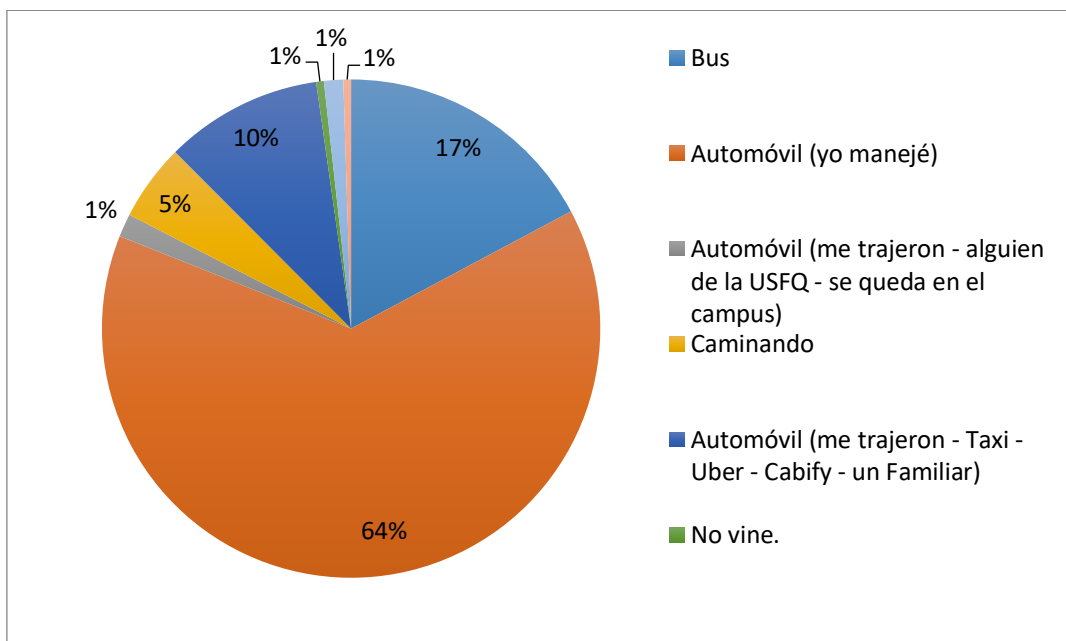


Figura 5. Distribución del transporte usado por profesores y administrativos de la USFQ

Tabla 8. Emisiones de GEI de estudiantes por uso de transporte terrestre

Tipo de Transporte usado	Estudiantes enero-mayo	Estudiantes verano	Estudiantes agos.-dic.	Emisión por semana de la muestra [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CO ₂ enero-mayo [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CO ₂ verano [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CO ₂ ago.-dic. [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CH ₄ enero-mayo [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CH ₄ verano [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de CH ₄ ago.-dic. [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de N ₂ O enero-mayo [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de N ₂ O verano [t CO ₂ -eq]	Emisión Total de N ₂ O ago.-dic. [t CO ₂ -eq]	Emisiones Totales al año [t CO ₂ -eq]
Bus	3521	1379	3831	1.22	251.01	32.78	273.18	2.05	0.27	2.24	0.63	0.08	0.69	562.94
Automóvil (manejé solo)	1873	734	2038	4.09	470.59	61.45	512.14	8.05	1.05	8.76	4.37	0.57	4.75	1071.75
Automóvil (manejé acompañado)	896	351	975	2.045	112.53	14.69	116.50	1.92	0.25	1.99	1.05	0.14	1.08	250.17
Automóvil (me trajo alguien de la USFQ)	206	81	224	2.045	25.88	3.38	26.80	0.44	0.06	0.46	0.24	0.03	0.25	57.54
Caminando	591	232	643	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Automóvil (Taxi, Uber, Cabify, un Familiar)	976	383	1063	2.045	220.67	48.02	225	2.82	0.37	2.93	1.54	0.20	1.59	503.14
Moto	43	17	46	0.07	0.18	0.02	0.19	0	0	0	0	0	0	0.4
Bicicleta	43	17	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emisiones Totales [t CO₂-eq]														2445

Tabla 9. Emisiones de GEI de profesores y administrativos por uso de transporte terrestre

Tipo de Transporte usado	Profesores y Administrativos todo el año	Emisión por semana de la muestra [t CO₂-eq]	Emisión Total de CO₂ 2017 [t CO₂-eq]	Emisión Total de CH₄ 2017 [t CO₂-eq]	Emisión Total de N₂O 2017 [t CO₂-eq]	Emisiones Totales al año [t CO₂-eq]
Bus	181	0.016	8.67	1.84	1.06	11.57
Automóvil (manejé solo)	670	1.07	190.66	0.32	0.18	191.17
Automóvil (me trajo alguien de la USFQ)	16	0.54	2.23	0.004	0.002	2.24
Caminando	52	0	0	0	0	0
Automóvil (Taxi, Uber, Cabify, un Familiar)	107	0.54	15.26	0.03	0.01	15.31
Moto	13	5.06 x 10 ⁻⁴	0.002	0	0	0.002
Bicicleta	5	0	0	0	0	0
Emisiones Totales [t CO₂-eq]						220.29

Los resultados muestran que se emiten en total 2665.29 t CO₂-eq relacionadas al transporte terrestre que usan estudiantes y profesores de la universidad. En este caso las emisiones de CH₄ y N₂O son mucho mayores a las del alcance 1 y 2, resultando en 33.66 y 2.20 t CO₂-eq por metano para estudiantes, profesores y administrativos respectivamente y 17.21 y 1.25 t CO₂-eq por óxido nitroso para estudiantes y profesores y administrativos respectivamente.

En total las emisiones de CO₂-eq por metano y óxido nitroso representan el 2.04 % de las emisiones relacionadas al transporte terrestre de la comunidad universitaria, y aunque no es un porcentaje muy alto es necesario tomarlo en cuenta ya que son emisiones significativas (IPCC, 2015), sobre todo para conocer un valor más cercano a la realidad de las emisiones de GEI del alcance 3. Es importante destacar que para la universidad es la primera vez que se realiza un cálculo de las emisiones de varios GEI, por lo que pueden ser tomados en cuenta como línea base de comparación para futuros años.

Por otro lado, se observa también la diferencia entre la distribución del tipo de transporte usado por estudiantes, profesores y administrativos, figura 4 y 5. Se destaca que el 49% y 76 % de la población estudiantil y administrativa utilizan automóvil, respectivamente. Sin embargo, este porcentaje se encuentra dividido entre las personas que comparten su auto, los que vienen con otras personas hasta la universidad, los que utilizan taxi y los que viajan solos en el auto. De todas las alternativas descritas anteriormente, el 23% y 64% de los estudiantes y profesores y administrativos viajan solos en su automóvil, respectivamente. Esta es la manera más ineficiente de transportarse hasta la universidad, en base a emisiones, ya que aporta con casi 1263 t

de CO₂-eq, es decir que representa el 47.39 % de las emisiones solo del transporte terrestre para el año 2017 y aportando con el 28.18 % de emisiones de la huella de carbono para el mismo año.

En cuanto al bus, es el medio de transporte más eficiente que utiliza el 43% de los estudiantes, lo cual permite disminuir de manera significativa la huella de carbono para el período de estudio. Se debe destacar también que a diferencia de años anteriores (Salazar, 2015. Naciph, et al., 2013) las emisiones relacionadas a este rubro del alcance 3 han disminuido. Esto se debe principalmente a que aumentó en un 7% y 3% y el número de estudiantes que vienen en bus a la universidad comparado con el año 2012 y 2015 respectivamente. Esto significa que para la población estudiantil del año 2017 alrededor de 620 estudiantes más optó por movilizarse en bus, permitiendo de esta manera reducir las emisiones. En cuanto a los profesores y administrativos de la universidad, solo el 17% se moviliza en bus, sin embargo este porcentaje aumentó desde el año 2015, en el cual solo el 14% de los profesores y administrativos hacían uso de este medio de transporte (Salazar, 2015).

Se debe destacar que al tener el detalle de los estudiantes que comparten su auto con otros estudiantes o personas que los dejan en la universidad, se puede calcular de manera más real las emisiones relacionadas a cada estudiante y al compartir el auto también se disminuyen las emisiones. Para el período de estudio se debe tomar en cuenta que muchos estudiantes solo se transportan a la universidad de lunes a jueves, lo que permite reducir las emisiones, al evitar el transporte del día viernes.

Para conocer la certeza de los resultados obtenidos se debe tener en cuenta que para el número total de encuestas llenadas se tomaron muestras significativas con el 95% de

confianza para cada uno de los tipos de vehículos usados, de las cuales se obtuvo las emisiones. También se toma en cuenta el número de estudiantes para cada semestre y verano que usaría cada tipo de transporte, asegurando de esta manera que el cálculo de las emisiones tenga menor incertidumbre.

Emisiones por transporte aéreo relacionado a diferentes actividades de la comunidad universitaria

Las emisiones relacionadas al uso de transporte aéreo por los miembros de la comunidad universitaria representan el 15.49 % en las emisiones para el período de estudio.

Los vuelos que se tomaron en cuenta fueron de las rutas de avión usadas por estudiantes o profesores que viajaron para transportarse a otros campus de la universidad como GAIAS o Tiputini. También se tomaron en cuenta los vuelos de estudiantes de intercambio que viajan a otra universidad en otro país o que vienen a la USFQ. Toda la información fue obtenida de la oficina de programas internacionales. Para el caso de los vuelos internos del país se conoce la ruta exacta del vuelo que realizó cada pasajero, tomando en cuenta cuantas veces viajó y las escalas que realizó. Esta información permitió realizar un cálculo de emisiones con menor incertidumbre.

Sin embargo, en el caso de los vuelos de estudiantes de intercambio, no se conoce la ruta exacta de los vuelos tomando ya que solo se conoce la información de la universidad de la que vienen o a la que se van, es por esto que para cada estudiante de intercambio se asumió una ruta de vuelo directa dependiendo del país y ciudad en la que se ubica su universidad de intercambio. Esto permite una mayor incertidumbre en los resultados obtenidos, pero no significa que no sean bastante parecidos a las emisiones reales relacionadas a este alcance.

Tabla 10. Emisiones de GEI de la comunidad universitaria por uso de transporte aéreo

Rutas	Emisiones CO ₂ [t CO ₂ -eq]	Emisiones CH ₄ [t CO ₂ -eq]	Emisiones N ₂ O [t CO ₂ -eq]	Emisiones CO ₂ -eq [t]
Viajes Nacionales	230.31	1.20	0.69	232.2
Viajes Internacionales	432.29	2.26	1.29	435.84
Emisiones Totales [t CO₂-eq]				668.04

Para comprobar los resultados obtenidos por las emisiones del transporte terrestre y aéreo se realizó el cálculo por dos métodos como lo recomienda Naciph y otros (2013), mediante factores de emisión y uso de combustible, ec. 2, y mediante balance de masas usando la ec.5 y 6, en las que se deben tomar en cuenta el tipo de combustible usado en cada vehículo y en el caso de los aviones se modela las emisiones con C₈H₁₈. Mediante estos dos métodos se obtuvieron resultados muy parecidos como también se observó en el estudio realizado por Naciph y otros (2013), lo que muestra una mejor confianza en los resultados. Por otro lado esto también demuestra que el uso de factores de emisión para obtener las emisiones es un método válido. Las emisiones de CH₄ y N₂O fueron obtenidas usando solo factores de emisión y uso de combustible de cada tipo de transporte, pero como lo indicado antes, este método es válido y arroja resultados confiables (Iberdrola, 2017).

Emisiones por generación de residuos

Las emisiones por generación de residuos de la USFQ representan el 2.96 % de las emisiones de la huella de carbono del año 2017.

Estas emisiones pudieron ser estimadas mediante la caracterización de los residuos de la universidad, que fue realizada durante una semana del mes de septiembre del año 2017. A partir de esta actividad se pudo estimar la composición de los residuos de la USFQ, figura 6, además de la cantidad de cada residuo generado por semana.

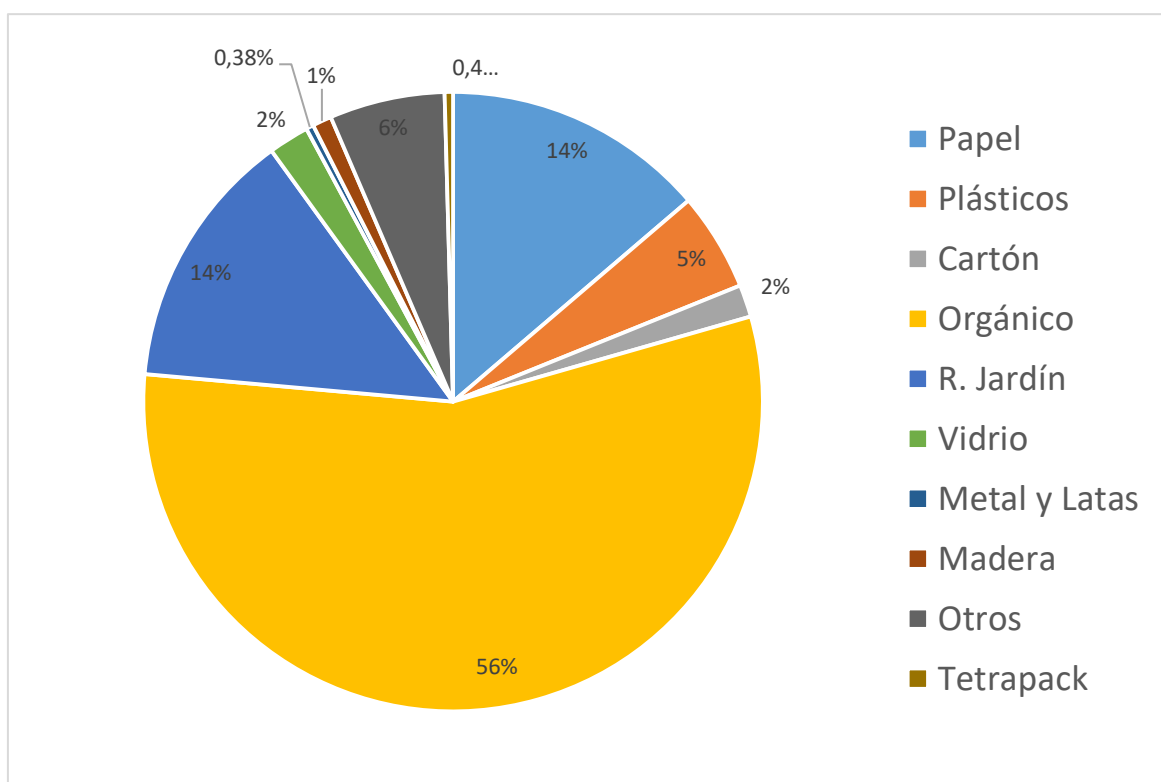


Figura 6. Composición de los residuos de la USFQ año 2017

Por otro lado, se obtuvieron datos de la cantidad y tipo de residuos reciclados de cada mes del año 2017, la cantidad de residuos de comida destinados para alimentación de animales y por último la cantidad de residuos de jardín que son utilizados para compostaje.

Los resultados mostraron que el 56% de los residuos de la USFQ son orgánicos, de los cuales el 79.61% es destinado como alimento de cerdos en una granja. Otros de los residuos que más se generan en la universidad son papel y residuos de jardín, de lo cual estos últimos residuos son utilizados en un 100% para realizar compostaje.

A partir de toda la información se obtuvo la cantidad de residuos producidos cada día de la semana de la caracterización, a continuación se obtuvo la tasa de generación de residuos por estudiante y por día, obteniendo el valor de 0.084 kg/estudiante-día. Mediante este valor se estimó la cantidad generada de residuos para cada semestre y verano del período de estudio, tomando en cuenta el número de estudiantes, profesores y administrativos para cada período académico y el número de días trabajados en cada semestre o verano. También se obtuvo la composición química de la materia orgánica, para cada semestre y verano, de los residuos que son posteriormente llevados a un relleno sanitario, en el cual se descomponen y emiten CO₂ y CH₄ (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1998). Se debe tomar cuenta para este cálculo que los residuos utilizados como alimento para animales o para compostaje tienen cero emisiones dentro de la huella de carbono de la universidad, ya que al ser gestionados por un tercero y reutilizados para realizar otras actividades (Macías y Rojas, 2013) ya no se encuentran relacionadas a la universidad.

Las emisiones relacionadas a la generación de residuos de la USFQ se muestran en la tabla 11. Debido a que en el año 2017 se dio un mejor manejo de residuos, incentivando el reciclaje y sobre todo usándolos para alimentar animales y realizar compostaje, las emisiones relacionadas a la generación de residuos se reducen.

Tabla 11. Emisiones de GEI por generación de residuos de la USFQ

Período	Emisiones	Emisiones	Emisiones
Académico	CO₂ [t]	CH₄ [t]	CO₂-eq [t]
Enero - Mayo	5.14	1.98	60.70
Verano	0.28	0.11	3.33
Agosto - Diciembre	5.40	2.08	63.74
Emisiones Totales [t CO₂-eq]			127.77

Se observa también que el mayor aporte de emisiones en t CO₂-eq se debe a la emisión de metano, aunque las emisiones de ese gas sean menores a las de CO₂, el uso de su alto potencial de calentamiento global permite que la huella de carbono aumente. El 91.5% de las emisiones de CO₂-eq relacionadas a la generación de residuos se dan por la emisión de CH₄.

Emisiones por generación de aguas residuales

Las emisiones por generación de aguas residuales de la USFQ representan el 0.62 % de las emisiones de la huella de carbono del año 2017.

Las emisiones de GEI por la generación de aguas residuales se dan principalmente por la descomposición de la materia orgánica contenida en estas aguas (Metacalf y Eddy. 2003).

Con la información obtenida y estimada, para la universidad y el edificio Hayek respectivamente, del consumo total anual de agua se obtuvieron las emisiones de GEI relacionadas a este rubro, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Emisiones de GEI por generación de aguas residuales de la USFQ

Período Académico	Consumo	Consumo	
	de agua USFQ [m ³]	de agua edificio Hayek [m ³]	Emisiones CO ₂ [t]
Enero - Mayo	12936	5668	11.80
Verano	4604	2037	4.21
Agosto - Diciembre	11902	5011	10.73
Emisiones Totales [t CO₂-eq]			26.75

Se estimó el consumo diario de agua por persona en la universidad, cálculo mediante el cual se obtuvo que el consumo varía entre 0.016 y 0.014 m³/persona-día, valor cercano al consumo diario de agua obtenido en estudios para otras universidades que muestran un consumo medio de 0.012 m³/persona-día (Silva, Erazo y Pinzón, 2017). Otros estudios han mostrado un consumo mayor de agua, como en centros educativos de Perú donde el consumo medio es 0.05 m³/persona-día y en Colombia entre 0.02 y 0.04 m³/persona-día (Cardona y Ocampo, 2012). De esta manera se puede observar que el valor obtenido del consumo medio de agua al día por persona en la universidad es generalmente más bajo que en otros centros educativos y universidades de la región. Por otro lado el valor obtenido del consumo es mucho menor al consumo diario de un quiteño, que es aproximadamente de 0.2 m³/persona-día (EPMAPS, 2015). Esto demuestra que valor obtenido del consumo de agua por persona solo en la actividades de la universidad es mucho menor al promedio de un quiteño, lo cual es real debido a que en la universidad

hace uso de instalaciones compartidas con muchas más personas que en una casa, no se utiliza estas instalaciones durante todo el día sino solo en ciertas horas a lo largo del día y el consumo de agua es basado principalmente en el uso de baños, excepto para ducharse, por lo que normalmente el consumo es menor en la universidad.

Emisiones Campus GAIAS y Tiputini

Se calcularon las emisiones para el campus GAIAS y Tiputini considerando solo alcance 1 y 2, que son las emisiones que se deben presentar obligatoriamente según el IPCC (2004). La huella de carbono de cada campus para estos dos alcances se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Emisiones de los alcances 1 y 2 del campus GAIAS Y Tiputini

Alcances	Emisiones GAIAS [t CO ₂ -eq]	Porcentaje (%)	Emisiones Tiputini [t CO ₂ -eq]	Porcentaje (%)
Alcance 1	4.09	2.16 %	7.23	100
Alcance 2	68.06	35.96 %	-	-
Alcance 3	117.14	61.88 %	-	-
Total	189.29	100%	7.23	100%

La huella de carbono del campus GAIAS corresponde a 189.29 t CO₂-eq. De las emisiones totales el 2.16% corresponde al alcance 1, en el cual para el caso del campus GAIAS se toma en cuenta las emisiones por consumo de GLP para cocinas y laboratorios. Dentro del campus no se quema otro tipo de combustibles para ninguna actividad.

Por otro lado el alcance 2 relacionado al consumo de electricidad del campus, aporta en un 35.96 % a la huella de carbono del mismo. Las emisiones de este alcance se obtuvieron a partir de las planillas de consumo eléctrico provenientes de la empresa ELECGALÁPAGOS, la cual es la encargada de generar, transportar y distribuir la energía eléctrica en toda esta región (ELECGALÁPAGOS, 2018). Es por esto que se calculó un factor de emisión por generación eléctrica solo para la región de Galápagos, debido a que es la única región en el Ecuador que produce su propia energía y no forma parte de la red nacional. Las fuentes para la generación de energía eléctrica son principalmente por la quema de diésel y de energía eólica. Conociendo esto se obtuvo un factor de emisión para cada tipo de fuente usada para la generación de energía en Galápagos y se multiplicó este factor de emisión por los kWh consumidos por el campus, correspondientes a cada tipo de fuente, ya que la planilla especifica la cantidad de energía consumida por tipo de fuente.

En cuanto al alcance 3, sus emisiones aportan con el 61.88 % de la huella de carbono del campus GAIAS. Dentro de este alcance se tomó en cuenta las emisiones por el transporte que utilizan estudiantes, profesores y administrativos para trasladarse hasta el campus y hacia diferentes lugares para realizar actividades relacionadas al campus. Es por esto que estas emisiones se deben al uso de combustibles de autos, taxis, motos e incluso botes cuando requieren trasladarse de una isla a otra, aportando con 115.62 t CO₂-eq. Por último se tomó en cuenta las emisiones por generación de residuos, que aportan solo con 1.52 t CO₂-eq, este valor es muy bajo debido a que en el campus se recicla el 100% del plástico, vidrio y aluminio, todo lo orgánico se hace compost y solo la basura común llega al relleno sanitario.

En cuanto al campus Tiputini, las emisiones del alcance 1 representan el 100% de la huella de carbono del mismo. Esto se debe a que las emisiones por generación eléctrica en campus son emitidas en el mismo lugar ya que se cuenta con un generador eléctrico que provee de energía a toda la estación. De esta manera la huella de carbono de este campus es de 7.23 t CO₂-eq.

Si se toma en cuenta las emisiones del campus GAIAS y Tiputini como parte de la huella de carbono de la USFQ para el año 2017, estas emisiones representan el 3.65% y 0.16% de las emisiones para el período de estudio.

Huella de Carbono de la USFQ año 2017

Mediante el cálculo de las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero, tomando en cuenta los 3 alcances para el cálculo de la huella de carbono, se obtuvo el valor total de emisiones de GEI para la Universidad San Francisco de Quito para el año 2017 como se indica en la tabla 14.

La huella de carbono de la USFQ año 2017 es de 4311.63 t CO₂-eq, de este valor 209 t CO₂-eq constituyen al alcance 1, 615 t CO₂-eq constituyen al alcance 2 y 3488 t CO₂-eq constituyen al alcance 3.

Las emisiones de CH₄ y N₂O aportan a la huella de carbono con 158.82 t CO₂-eq y 21.44 t CO₂-eq respectivamente, representando el 3.68% y 0.50 % de las emisiones del 2017. De esta manera se observa que las emisiones de estos gases son representativas ya que según el Protocolo de GEI, todas las emisiones deben ser incluidas, excepto las que representen menos del 1% (2004). Es así que estas emisiones deben ser siempre

tomadas en cuenta si se realizan futuros cálculos de la huella de carbono de la universidad.

Tabla 14. Huella de Carbono de la USFQ año 2017

Alcances	Emisiones [t CO₂]	Porcentaje (%)
Alcance 1		
Emisiones por fuentes fijas	65.53	1.52 %
Emisiones por fuentes móviles	80.96	1.88 %
Emisiones Fugitivas	62.73	1.45 %
Alcance 2		
Emisiones por consumo de energía eléctrica	614.56	14.25 %
Alcance 3		
Uso de Transporte Terrestre	2665.29	61.82 %
Transporte aéreo	668.04	15.49 %
Generación de residuos	127.77	2.96 %
Generación de aguas residuales	26.75	0.62 %
Total Emisiones	4311.63	100%

Se puede observar que el mayor aporte a la huella de carbono para el año 2017 se debe al alcance 3. Este resultado es esperado debido a que la mayor cantidad de emisiones de CO₂-eq relacionadas a las actividades de una empresa o institución se deben al

alcance 3 (CEPAL, 2010). Este comportamiento también fue evidenciado en el estudio de la huella de carbono de Salazar (2015) y en el Reporte de sostenibilidad de la USFQ año base 2012 (2014).

Dentro del alcance 3, la mayor cantidad de emisiones se deben al transporte terrestre que usan estudiantes, profesores y administrativos de la USFQ, por lo que es este rubro con el que se trabajará principalmente para reducir emisiones en los próximos años mediante el Plan de Mitigación presentado en la sección 3.11.

Recálculo de la línea base y comparación

Para el recálculo del año 2012 se realizó la misma metodología utilizada que para el 2017, por lo que se tomó en cuenta las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O y HFCs y se actualizaron los potenciales de calentamiento global para cada gas según lo indica el AR5 (2014). La actualización de la línea base se presenta en la tabla 15.

La información para el recálculo de la línea base se obtuvo a partir del Reporte de sostenibilidad de la Universidad San Francisco de Quito año 2012. Para el alcance 1 se tuvieron que actualizar los datos de las fuentes de emisión fugitivas, información que se obtuvo de la oficina de planta física de la universidad. Estas emisiones de fuentes fugitivas al ser añadidas en el año base también permiten un aumento en la huella de carbono de ese año.

Tabla 15. Recálculo y actualización de la Huella de Carbono de la USFQ año 2012

Alcances	Emisiones CO ₂ [t CO ₂ - eq]	Emisiones CH ₄ [t CO ₂ - eq]	Emisiones N ₂ O [t CO ₂ - eq]	Emisiones Totales [t CO ₂ - eq]	Porcentaje (%)
Alcance 1					
Emisiones por fuentes fijas	117.75	0.213	0.04	118.15	2.34 %
Emisiones por fuentes móviles	26.44	3.81 x 10 ⁻³	2.28 x 10 ⁻⁴	26.61	0.53 %
Emisiones Fugitivas	64	-	-	64	1.27 %
Alcance 2					
Emisiones por consumo de energía eléctrica	800.55	2.8	1.43	804.85	15.94 %
Alcance 3					
Uso de Transporte Terrestre	2976.6	11.86	6.75	2995.21	59.33 %
Transporte aéreo	585.77	3.06	1.74	589.8	11.70 %
Generación de residuos	36.17	396.48	-	432.65	8.57 %
Generación de aguas residuales	16.40	-	-	16.40	0.32 %
Total Emisiones	4623.68	414.41	9.96	5047.67	100 %

En el caso del alcance 2 se actualizaron también los factores de emisión para el año 2012 debido a la generación eléctrica del país, ya que en el informe antes mencionado se utilizó solo el factor de emisión de CO₂ año 2011. Se obtuvo para el año 2012 factores

de emisión con valores de 311.88, 0.04 y 0.021 g/kWh de CO₂, CH₄ y N₂O, respectivamente. Estos factores de emisión fueron calculados a partir de la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano Año 2012 (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2012). El factor de emisión del año 2011 fue de 313.3 g CO₂/kWh (Parra, 2013. USFQ, 2014) por lo que al actualizar las emisiones del alcance 2 con los nuevos factores de emisión, las emisiones aumentan para el año base.

Por otro lado las emisiones de la huella de carbono del año 2012 también aumentan debido a la incorporación del cálculo de emisiones de CH₄ y N₂O, que en este año representan el 8.41% de la huella de carbono.

Aunque en el planteamiento del año base se dejó establecido que es obligatorio solo el recálculo de las emisiones del alcance 1 y 2, para este estudio se realizó también el recálculo del alcance 3 para poder tener una estimación más real de la huella de carbono del año base y poder realizar una comparación.* Sin embargo se debe tomar en cuenta es que existen limitaciones para el recálculo de este alcance debido a que la información obtenida para ese año no posee el detalle como para el año 2017. Es por esto que puede existir un sesgo en la estimación de las emisiones, sobre todo en las que se relacionan al transporte terrestre de los estudiantes.

Después de haber realizado el cálculo del año 2017 y el recálculo de la línea base para el año 2012 se observa que existe una reducción de emisiones ya que para el año 2017 se emitieron 0.05 t CO₂-eq/m² y 0.44 t CO₂-eq per cápita mientras que para el año 2012 se emitieron 0.1 t CO₂-eq/m² y 0.72 t CO₂-eq per cápita.

*Tomar en cuenta que para futuras comparaciones el año base del alcance 3 es el año 2017.

A pesar de que el edificio Hayek ahora es tomado en cuenta y el número de estudiantes aumenta para el 2017 se pensaría que las emisiones aumentarían, sin embargo esto no sucede. Según lo que se observa en las tablas 14 y 15 la reducción de emisiones es mayor en los alcances 2 y 3. Para el alcance 2, se atribuye la reducción de emisiones principalmente a que el factor de emisión de CO₂ expresado en g CO₂/kWh disminuye en 123 unidades entre el 2012 y 2017. Este cambio en el factor de emisión permite que se disminuyan aproximadamente 399 t CO₂, emisiones de CO₂ que se tendrían si el factor de emisión entre estos dos años no cambiaría.

Este cambio del factor de emisión se debe a la diferencia de la quema de combustibles entre 2012 y 2017 para la producción de energía eléctrica en el Ecuador. De esta manera esta reducción de emisiones se atribuye a un cambio realizado a nivel nacional que favorece la huella de carbono durante el periodo de estudio ya que permite una disminución.

Por otro lado también disminuyen las emisiones debido a que muchos estudiantes no utilizan las instalaciones de la universidad los días viernes, por lo que aproximadamente no se consumen 269649 kWh en todo el año, que representaría el 8% del consumo eléctrico anual y una reducción de 54 t CO₂-eq.

En cuanto al alcance 3, se atribuye una reducción de emisiones principalmente a que muchos estudiantes no se transportan hasta la universidad los días viernes. Tomando en cuenta que la cantidad de estudiantes que pudieron transportarse los días viernes sería similar a la de los días lunes y miércoles, se estima que aproximadamente se ahorran 538 t CO₂-eq.

Por otro lado también existe una reducción de emisiones relacionadas a la generación de basura de la universidad, debido a que en el año 2017 el 100% de los residuos de

jardín se destinaron a compostaje y el porcentaje de residuos orgánicos enviados como alimentos para animales aumenta del 30% (USFQ, 2014) al 80% del año 2012 al 2017, respectivamente. Estos cambios permiten que se ahorren aproximadamente 192 t CO₂-eq.

De esta manera para el año 2017 se ahorraron en total aproximadamente 1183 t CO₂-eq, como se puede observar en la tabla 16:

Tabla 16. Estimación de las Emisiones Reducidas año 2017

Alcances	Cambios durante el período de estudio	Emisiones Reducidas [t CO₂ - eq]
2	Factor de emisión por consumo eléctrico	399
	Disminución de consumo eléctrico por el uso de instalaciones solo de lunes a jueves	54
3	Movilidad de Lunes a Jueves	538
	Manejo de Residuos	192
Emisiones Totales Ahorradas [t CO₂-eq /año]		1183

Se realizó también una comparación de la huella de carbono de la USFQ con otras universidades de la región. Se encontró que para la Universidad de Santiago de Chile se emiten 22444.52 t CO₂-eq y 0.84 t CO₂-eq per cápita (USACH, 2016). Estos valores son mayores que los obtenidos para la USFQ año 2017. Sin embargo esto se debe a que la Universidad de Santiago de Chile posee una extensión de casi 33 hectáreas y con más de 27000 personas que conforman la comunidad universitaria (USACH, 2016). Al ser una universidad 4 veces más grande que la USFQ y con 3 veces más personas que conforman la comunidad universitaria se espera que la huella de carbono sea mayor. Por otro lado

al comparar la emisión de CO₂ por persona se puede observar que según este indicador la USFQ es más eficiente en sus emisiones por persona, lo que indica que es una universidad que se encuentra mejorando en disminuir sus emisiones y aplicar actividades más sostenibles.

Plan de Mitigación

A partir del recálculo de la línea base año 2012 y el cálculo de la huella de carbono año 2017, se puede observar que a pesar de que la huella de carbono disminuyó, uno de los alcances que aportan con la mayor cantidad de emisiones es el alcance 3. De este alcance el transporte terrestre usado por la comunidad universitaria aporta con el 61 % de las emisiones.

Se ha visto importante realizar un plan de mitigación enfocado principalmente en reducir las emisiones de CO₂-eq relacionadas a la movilidad de estudiantes, profesores y administrativos de la universidad. Este Plan fue desarrollado basándose en propuestas que han sido aplicadas en otras universidades y que han funcionado, como por ejemplo en buscar incentivos que motiven a la comunidad de una universidad a reducir sus emisiones. En la universidad estatal de Carolina del Norte, NC State, han aplicado un programa que promueve una mejor movilidad estudiantil como el caminar, ir en bicicleta o compartir el auto (NC State, 2018). La universidad promueve estas actividades mediante los beneficios que le pueden dar a cada estudiante como en su salud física y emocional, mejorar las relaciones sociales estudiantiles e incluso ahorrar dinero (NC State, 2018).

En la universidad de Princeton promueven caminar o usar bicicletas mediante incentivos económicos ya que las personas de la comunidad universtaria que opten por estas alternativas son beneficiadas con 400\$ anuales en efectivo (Princeton University, 2018). Las personas que opten por tomar tren reciben un 50% de subsidio al mes, los que realizan auto compartido reciben también 400\$ anuales (Princeton University, 2018).

Estas son solo algunas de las propuestas que funcionan en otras universidades como parte de sus planes para reducir su huella de carbono, por lo que son tomadas en cuenta para realizar el plan de mitigación además de tener propuestas generadas para la USFQ.

A continuación se proponen las medidas del Plan de Mitigación para la Universidad San Francisco de Quito:

Transporte:

- **Caminar o usar bicicletas para ir a la universidad**

Se propone caminar o usar de bicicletas a los estudiantes, profesores y administrativos que viven cerca de la universidad, siempre y cuando existan las condiciones geográficas y de señalización, veredas y ciclo vías para su desplazamiento. Las personas que podrían optar por esta opción son las que viven alrededor de 0.5 a 1 km de distancia de la USFQ.

Para promover este tipo de desplazamiento para llegar a la universidad se proponen los siguientes incentivos para que principalmente los estudiantes se sientan motivados a realizar estas actividades:

Incentivos:

- Dar casilleros a estudiantes que vengan en bicicleta o caminando desde sus casas hacia la universidad. Es importante darles este espacio para que coloquen sus libros, computadora, ropa (para los que tienen clases de deporte), ya que

usualmente muchos estudiantes dejan sus pertenencias en sus carros y no tiene la necesidad de llevar todo en sus mochilas, es decir que se promueve que vengán caminando a cambio de una alternativa para que lleven su mochila más liviana.

- Dar un certificado de sus acciones y compromiso para disminuir la huella de carbono de la universidad, así tienen un incentivo de reconocimiento que les puede servir para su vida profesional.
- Incentivar a caminar o hacer bicicleta como un hábito que se debería empezar a tener en la universidad al venir a clases, promoviendo una buena salud. Se ha comprobado que estas actividades no solo ayudan a quemar calorías y realizar el deporte necesario que cada persona debería tener a diario, sino que también ayuda a relajarse y quitar el estrés de las clases. Los estudiantes que caminan o hacen bicicleta antes y después de clases muestran mejor concentración, menores índices de estrés y mejor rendimiento en clases. Por otro lado en muchas universidades se ha visto que los estudiantes que vienen en bicicletas promueven un apoyo mutuo e intercambio de experiencias psicológicas positivas a través de esta actividad, lo que permite al mismo tiempo incrementar este modo de transporte entre los estudiantes universitarios (Titze, Stronegger, Janschitz, y Oja, 2016).
- Un fuerte incentivo hacia los estudiantes también es una recompensa económica, a los estudiantes que caminen o usen bicicleta para ir a la universidad se les podría dar 100 dólares al final del semestre. Así se promueve que su esfuerzo puede darles algo a cambio.

- Los estudiantes que opten por transportarse de estas formas a la universidad tendrían una prioridad y se los tomaría más en cuenta para escogerlos al aplicar a programas de intercambio de la universidad, o proyectos dentro de sus carreras que les permita incrementar sus conocimientos académicos y desarrollar su compromiso y esfuerzo con la universidad.

Para que esta propuesta pueda funcionar se necesita de:

- a) Casilleros
- b) Incentivos económicos en el caso de que se requiera

Si el plan funciona se estima que se reducirían 9.1 t de CO₂ al año tomando en cuenta que 141 personas se encuentran a la distancia y ubicación adecuada para que puedan caminar hasta la universidad. Existen 287 personas que ya caminan a la universidad, por lo que se espera que este número aumente y las emisiones en próximos años se reduzcan. El costo de implementar esta alternativa va desde 0 \$/t CO₂ reducida si solo se incentiva a la comunidad a usar esta alternativa por los beneficios de salud que tendrían, y podría costar hasta 300 \$/t CO₂ reducida si se empieza a dar incentivos económicos y casilleros a los estudiantes que utilicen con mayor frecuencia esta alternativa.

- **Implementar Rutas de Bus Universitario**

Se debería implementar un bus propio de la universidad que pueda traer a los estudiantes a la universidad y dejarlos en paradas cercanas a sus casas. De esta manera, las emisiones de CO₂ se reducen y los estudiantes pueden optar por un tipo de transporte que sea seguro, confiable y que sea gratis.

Esta propuesta está dirigida principalmente para los estudiantes que vienen manejando solos un automóvil hasta la universidad, la cual es la forma más ineficiente como se comprobó en la sección 3.7.1, además que esta forma de transporte es la que más aporta a la huella de carbono de la USFQ.

Para obtener la mejor ruta para el bus primero se estudió la distribución de los estudiantes que se transportan solos en automóvil hasta la universidad, mediante el mapa de los sectores con mayor densidad de estudiantes que usan automóvil que se puede observar en la figura 7.

Después de realizar un fuerte análisis utilizando la ubicación de profesores y estudiantes de la USFQ que vienen en auto manejando solos, se determinó que muchos de ellos viven en lugares cercanos a la universidad. Aunque muchos de ellos optan por transportarse en su propio vehículo ya sea por comodidad o seguridad, se propone como parte del plan de mitigación de la Huella de Carbono de la Universidad, que se instale una línea de bus que sea propia de la universidad, de esta manera puede ser personalizada y segura, tomando en cuenta los sectores con mayor densidad desde donde se transportan los estudiantes, profesores y administrativos.

Mediante el análisis se identificó que los sectores con los que se puede trabajar para implementar la ruta del bus son el Escalón Lumbisí-La Primavera, Tumbaco y Tanda-Miravalle. Estos sectores fueron escogidos por la cercanía a la universidad y por una mayor facilidad de implementar la ruta. Debido a que otros sectores donde existe una gran densidad de personas que se movilizan solos en sus autos se encuentran ubicados en zonas más alejadas de la universidad o que por la geografía de Quito, el tiempo de recorrido hasta cada sector como toda la Av 6 de Diciembre y el Valle de los Chillos sería

de aproximadamente una hora y media. Con este tiempo de recorrido es muy difícil trabajar ya que los estudiantes no optarían por opciones de transporte que permitan hacerles esperar y viajar mucho tiempo hasta llegar a la universidad.

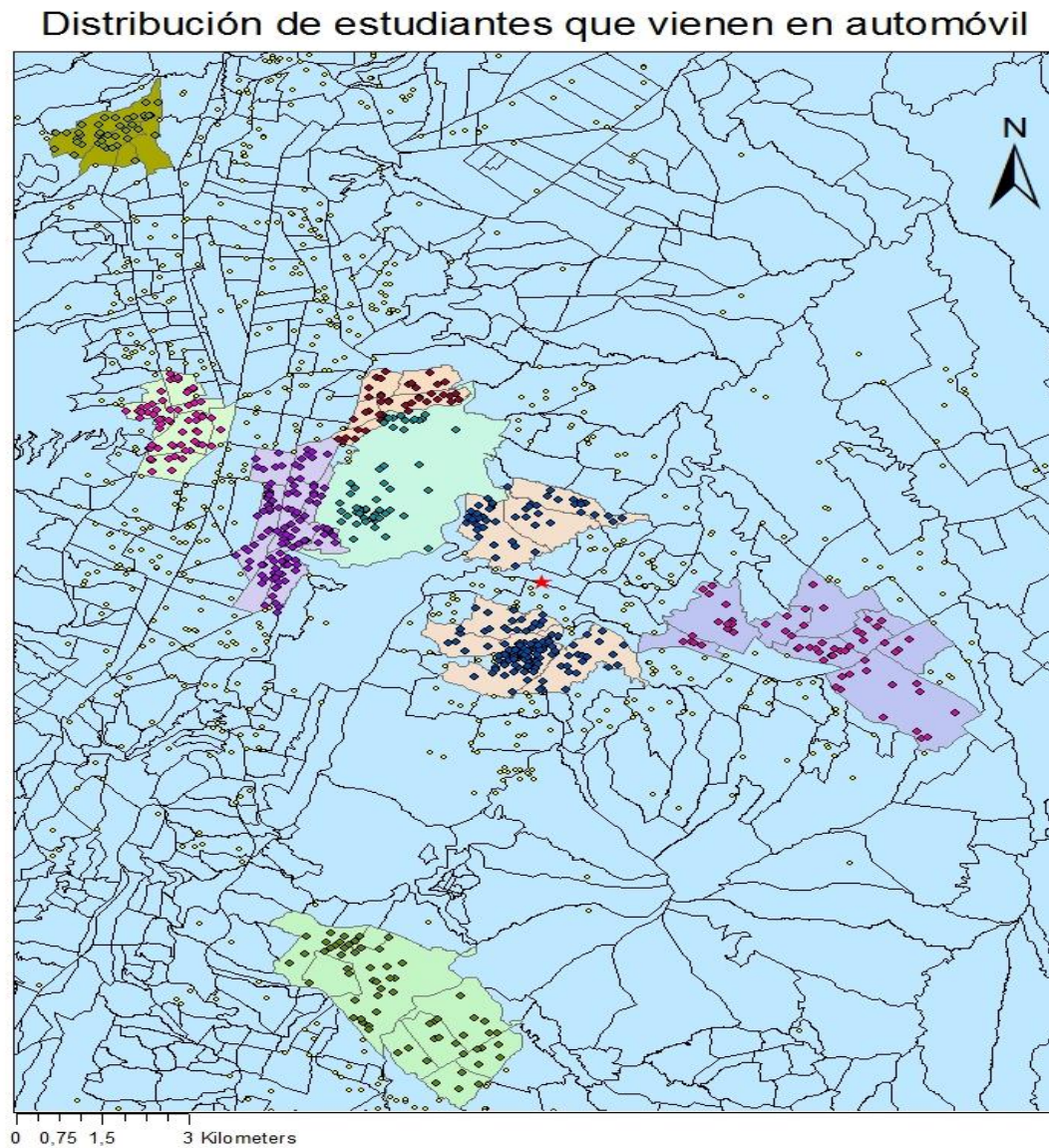


Figura 7. Mapa de los Sectores con mayor densidad de estudiantes que usan automóvil

A partir de esto, se analizaron varias opciones de rutas para los sectores escogidos, número y ubicación de paradas y el horario de entrada y salida de los estudiantes para proponer una ruta por cada sector. A continuación se observa el mapa de las paradas de la ruta del bus para la USFQ.

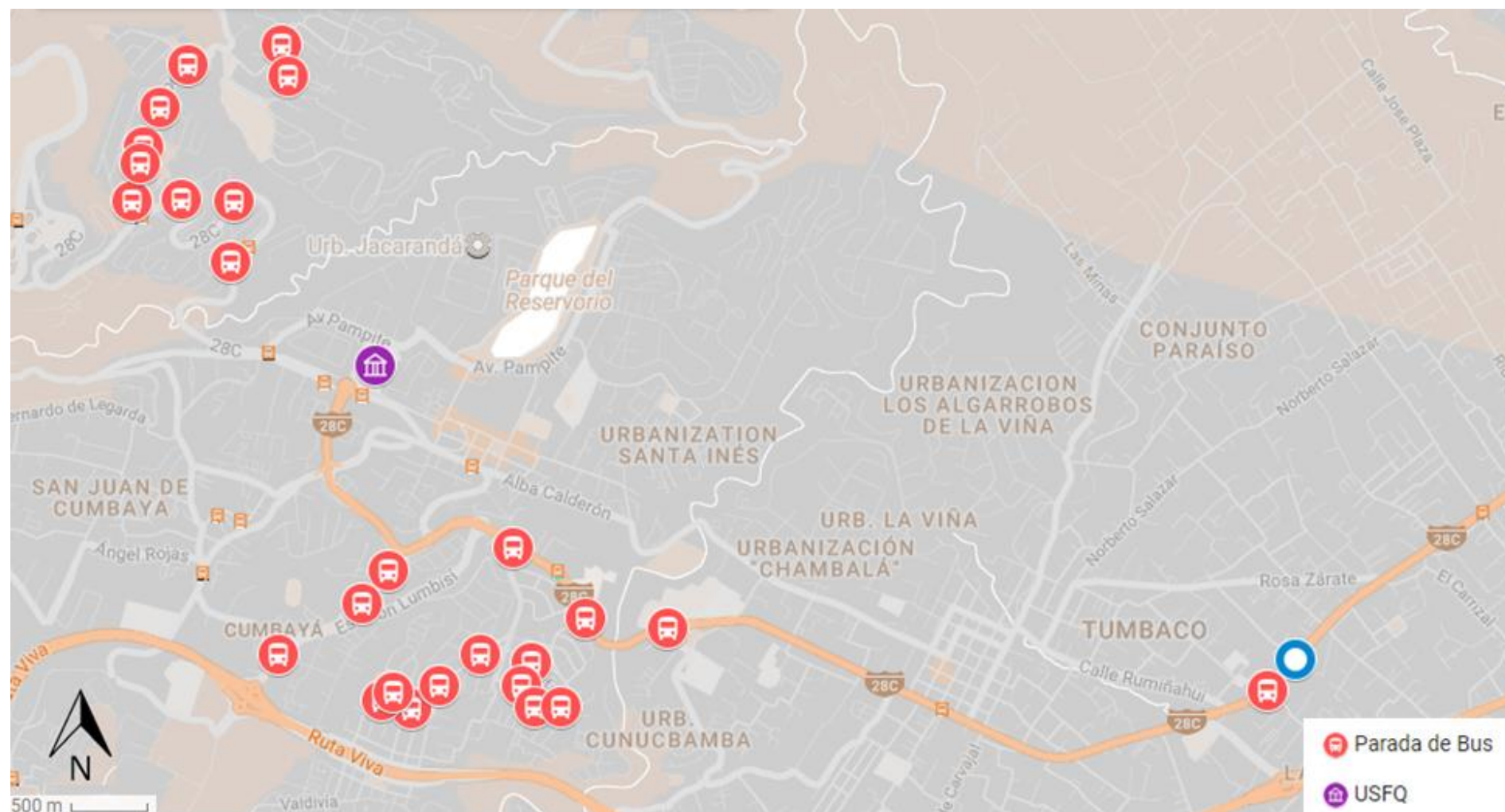


Figura 8. Mapa de las Rutas elegidas para el recorrido del bus de la Universidad San Francisco de Quito

Para los estudiantes, profesores y administrativos que viven en el sector del Escalón Lumbisi y La Primavera, se propone que la mejor opción es usar el bus que ya posee la universidad y que realiza recorridos hasta el Hospital de los Valles. De esta manera se utilizaría este bus ampliando su recorrido con paradas en El Escalón Lumbisí y La Primavera. Se proponen 15 paradas en puntos estratégicos donde vive mayor cantidad de estudiantes y donde es más fácil y cercano el acceso hacia el bus, de esta manera garantizando una mayor seguridad y también más comodidad con los estudiantes para que opten por elegir esta nueva opción de transporte.

El recorrido por estos sectores, figura 9, dura aproximadamente 15 minutos desde la universidad hasta la última parada, tomando en cuenta el regreso y el tiempo de cada parada aproximadamente se demora 33 minutos en total. En cuanto a la reducción de emisiones, en Escalón-Lumbisí y La Primavera viven aproximadamente 312 personas de la comunidad universitaria, que podrían usar las rutas del bus, lo que permitiría reducir 54.56 t de CO₂-eq al año. Se debe tomar en cuenta que cada año la cantidad de emisiones reducidas podrían aumentar ya que estos sectores son residenciales y cada año más personas pueden optar por usar esta alternativa.

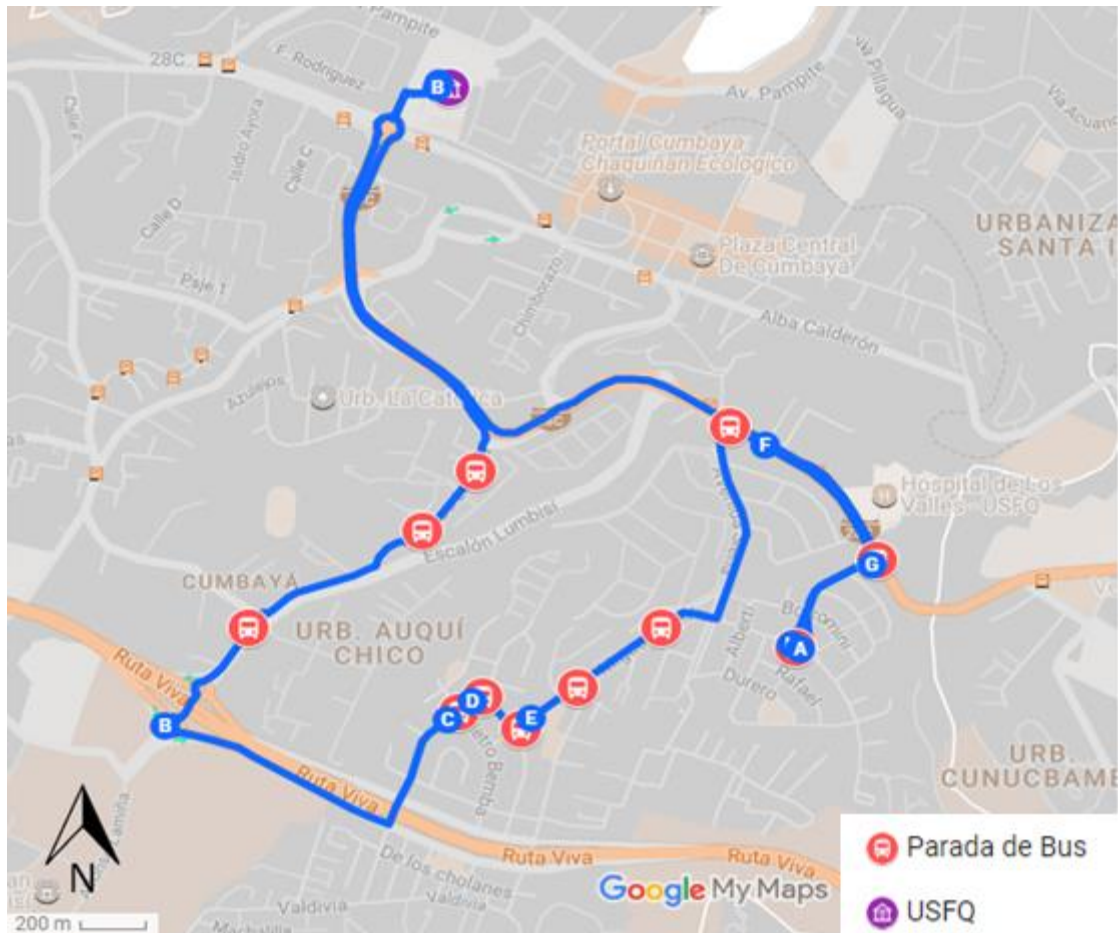


Figura 9. Mapa de la Ruta del Bus para Escalón Lumbisí-La Primavera

Para los sectores de Tumbaco, Miravalle y Tanda se tiene que realizar otro recorrido, figura 10 y 11, ya que al localizarse a una mayor distancia de la universidad el tiempo de duración del recorrido aumenta y si se realizaría un solo recorrido con todos los sectores como ya se analizó anteriormente, su duración sería aproximadamente de 1 hora y 15 minutos, por lo que los estudiantes no optarían por estas opciones. Para estos sectores se propone un recorrido desde la universidad hacia Tumbaco, recorriendo 7 km hasta la parada en La Morita, con una duración de 14 minutos. A continuación regresa en dirección a la universidad recorriendo otros 14 minutos por lo que tiene un recorrido total de aproximadamente 30 minutos tomando en cuenta las paradas. El bus de regreso de Tumbaco deja a los estudiantes en la parada del Paseo San Francisco y a continuación

se dirige hacia Tanda, realizando un recorrido de 5.4 km y una duración aproximada de 10 minutos. La ruta para este sector tiene 10 paradas, tomando en cuenta 1 minuto por parada y 10 minutos de ida y otros 10 minutos de regreso el recorrido tendría una duración total de aproximadamente 30 minutos.

Para el caso de Tanda-Miravalle, donde viven aproximadamente 97 personas de la comunidad universitaria, se reducirían 34.03 t de CO₂ al año. Para el caso de Tumbaco, donde viven aproximadamente 151 personas de la comunidad universitaria, se reducirían 74.03 t de CO₂ al año.

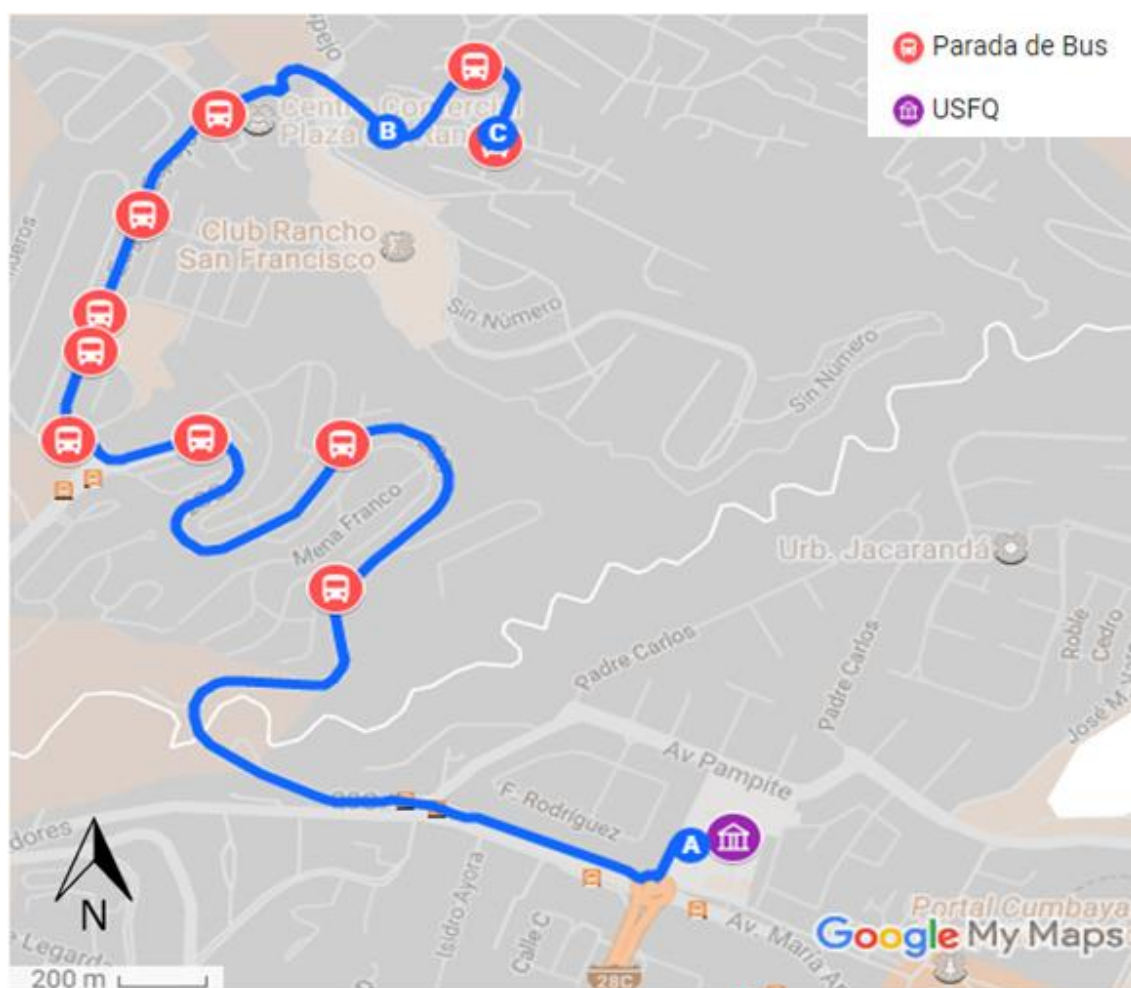


Figura 10. Mapa de la Ruta del Bus para Tanda-Miravalle

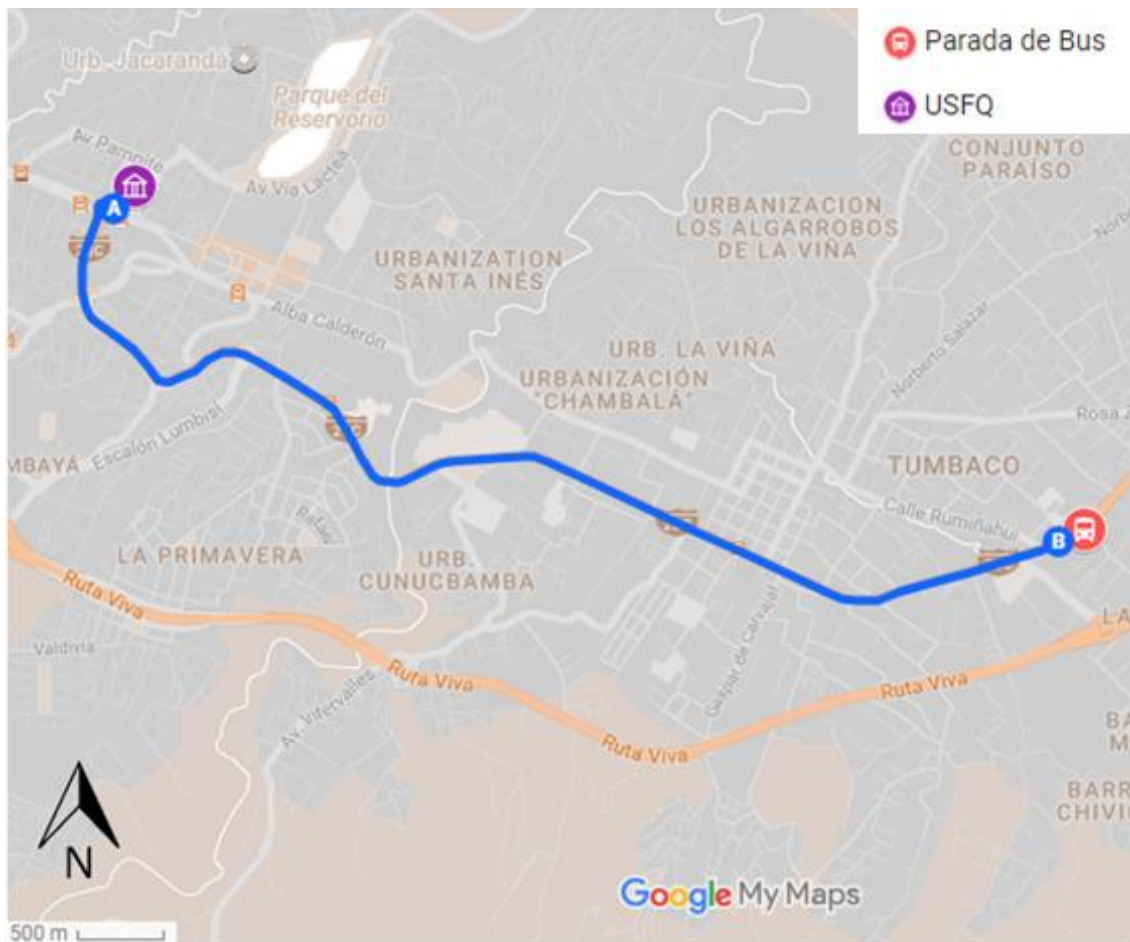


Figura 11. Mapa de la Ruta del Bus para Tumbaco

Finalmente, las emisiones de la ruta del bus no son significativas en comparación con las emisiones que se estima disminuir. Aproximadamente se emitirían 14.5 t de CO₂-eq al año por el uso del bus por estas rutas, pero se reducirían casi 150 t de CO₂-eq a un costo aproximado de 5.84-8.61 \$/t CO₂ reducida.

Para que el plan funcione esto se necesita implementar:

- a) Bus
- b) Mapas de rutas más eficientes

Se debe tomar en cuenta que aunque se disminuyan las emisiones del alcance 3, el uso del bus también causara emisiones, las cuales ahora serán parte del alcance 1 ya que la

implementación de la ruta del bus es haciendo uso de un bus que sería parte de la flota de vehículo de la universidad y sus emisiones son contraladas directamente por la misma, es decir que serían emisiones de fuentes móviles.

Equipos de Aire Acondicionado y uso de Refrigerantes

La mayoría de equipos de aire acondicionado usan el gas R-22 y las recargas constantes se realizan a los equipos que se sitúan en el edificio Aristóteles. Lo más recomendado para que se eliminen las fugas de estos equipos es que se cambien por unos nuevos y que se realice un mantenimiento constante. Además el tipo de gas que se usa se debe cambiar ya que el R-22 es un hidroclorofluorocarbono que ya se encuentra en desuso por ser un gas que destruye la capa de Ozono. En conjunto con las empresas que brindan el mantenimiento y distribución de los equipos, se debe empezar a usar otros gases que sean hidrofluorocarbonos como el R-407C que cuenta con la misma capacidad frigorífica y eficiencia energética del R-22 y tiene un PCG de 1774. Se podría usar también el gas RS-70 el cual tiene el menor PCG entre los sustitutos del R-22, con un valor de 1765 (The Chemours Company, 2018)

Se debe realizar un mantenimiento constante a todos los equipos de la universidad y mantener un registro actualizado de los gases refrigerantes que se están usando en cada equipo, y las recargas de cada equipo.

Si las fugas de estos gases disminuyen se puede reducir hasta 60 t de CO₂-eq a un costo desde 0 \$/t reducida hasta 97 \$/t reducida.

Gradas Eléctricas y Ascensores

Colocar sensores en las gradas eléctricas para que estos servicios solo funcionen cuando las personas los utilicen, de esta manera el consumo de energía disminuirá. Al tener sistemas más eficientes en los sistemas de gradas eléctricas se puede ahorrar el consumo eléctrico hasta en un 45% (Japanese Business Alliance for Smart Energy Worldwide, 2015).

De esta manera si se instalan sensores en las gradas eléctricas se podrían disminuir aproximadamente 7 t CO₂-eq/año a un costo de 97 \$/t CO₂ reducida.

Las propuestas para el Plan de Mitigación, sus costos y emisiones reducidas aproximadas se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Propuestas del Plan de Mitigación

Propuesta	Emisiones Reducidas [t CO₂-eq /año]	Porcentaje de la Huella de Carbono	Costo Adicional para la Universidad
Mantenimiento Equipos de Aire y Refrigeración	10 - 60	1.39 %	0 - 97 \$/t
Sensores para Gradas Eléctricas	7	0.16 %	97 \$/t
Caminar o Usar bicicleta	10	0.23 %	0 - 300 \$/t
Bus Universitario	149	3.45 %	5.84 – 8.61 \$/t
Emisiones Totales Ahorradas [t CO₂ -eq /año]		226	

En esta tabla se puede observar que la mejor propuesta para llevarse a cabo en la universidad es la aplicación del bus universitario, ya que permite reducir mayor cantidad

de emisiones a un precio más bajo. Además se debe tomar en cuenta que las emisiones ahorradas cada año puede aumentar mientras más estudiantes, profesores y administrativos opten por usar el bus y la ruta personalizada propuesta para la universidad, promoviendo también una movilidad más eficiente.

Mitigación de Emisiones por la concesión del área del campus Tiputini

La USFQ posee 744 ha destinadas a educación, investigación y protección. Mediante mapas de carbono orgánico retenido en el suelo o COS, provenientes de la FAO (2018) se ha determinado que el suelo del Tiputini retiene más de 60 t C/ha. Es así que toda esta área retiene aproximadamente 47348.16 t COS, que equivalen a 173609.92 t CO₂.

Mediante el cambio climático, la degradación y cambio de uso de suelo y la pérdida de biodiversidad y suelos se han convertido en uno de los recursos más vulnerables del planeta. El suelo es la mayor reserva de carbono en el planeta, incluso más que la atmósfera y vegetación combinados. El carbono orgánico retenido el suelo es muy dinámico, pero los impactos de fuentes antropogénicos pueden convertir el suelo en un reservorio o en una fuente de emisión de GEI ya que cuando cambia el tipo de suelo o se degrada, el suelo emite grandes cantidades de CO₂ y CH₄ a la atmósfera (FAO, 2017)

Por esto es de gran importancia que territorios como el Tiputini sean protegidos ya que debido al cambio climático y al manejo insostenible de los suelos, estas áreas pueden convertirse en grandes fuentes de emisión de GEI. Pero si se las maneja de manera adecuada tienen el potencial de secuestrar grandes cantidades de carbono en sus suelos

y mediante esto se puede contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático (FAO, 2017).

Conclusiones y Recomendaciones

La huella de carbono de la USFQ fue determinada para el año 2017 y recalculada para el año 2012. A partir de este cálculo y las estimaciones realizadas se observa que la huella de carbono disminuye para el periodo de estudio en comparación con la línea base. Es así que esta disminución se atribuye principalmente a que gran parte de los estudiantes no se transportan a la universidad los días viernes y no hacen uso de las instalaciones de la universidad, traduciendo esto en un ahorro de combustible y electricidad que permite reducir la huella de carbono de la universidad. De esta manera se observa que los cambios realizados en la universidad para tener un campus más sustentable, han producido un efecto real y positivo en cuando a la reducción de emisiones.

Se espera que mediante el plan de mitigación propuesto en esta investigación las emisiones de CO₂-eq se reduzcan en próximos años. Por otro lado se espera que se realicen más investigaciones que permitan reducir las emisiones de la universidad y que en futuros años se pueda tener una universidad carbono neutro.

En cuanto a las emisiones obtenidas para el año 2017, se debe tomar en cuenta que para el alcance 3 siempre va a existir una mayor incertidumbre en el resultado de las emisiones y esto se debe principalmente a que la información no se puede obtener una manera directa sino que se debe realizar estimaciones que permitan tener resultados lo más cercanos a la realidad.

En cuanto a las emisiones de CH₄ y N₂O, representan el 4.18 % de la huella de carbono para el año 2017 y las emisiones fugitivas por gases refrigerantes representan el 1.45% de la huella de carbono para el mismo periodo de estudio. Se recomienda que para futuros años se siga incorporando el cálculo de las emisiones de todos los GEI como se lo hizo para el 2017 para conocer el impacto real de la universidad al emitir todos estos gases, además se deben incorporar dentro de los inventarios de GEI como lo recomienda la IPCC.

En el caso de las emisiones por la generación de aguas residuales, estas representan solo el 0.62% de la huella de carbono del año 2017 por lo que se recomienda que no se tome en cuenta el cálculo de estas emisiones para futuros años debido a que no son emisiones significativas al ser menores al 1%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2012). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano Año 2012*. Recuperado de <http://www.regulacioneolica.gob.ec>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2017). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano Año 2017, Documento Preliminar*. Recuperado de http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/Est_2017_borrador_publicado.pdf
- Al-Sharif, L., Peters, R., y Smith, R. (2004). Elevator Energy Simulation Model. *Elevator World*, 52(11),2-5. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Lutfi_Al-Sharif/publication/275951580_Elevator_Energy_Simulation_Model/links/554a5b110cf29f836c964e32/Elevator-Energy-Simulation-Model.pdf.
- Ascensores y Más. (2018). *Consumo energético de ascensores por ocupación y dimensiones*. Barcelona, España: Ascensores y Más Recuperado de <https://ascensoresymas.com>.
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-12. Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf. 10/09/2017.
- Calderas A., Lambert, A., Montero, G., Campbell, H., y Leyva, O. (2009). Cuantificación de emisiones de gases refrigerantes en Mexicali baja California. Recuperado de <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/ImpactoYRiesgoAmbienta/Cuantificaci%C3%B3n%20de%20emisiones%20de%20gases%20refrigerantes%20en%20Mexicali%20Baja%20California.pdf>.
- Cardona y Ocampo. (2012). *Estrategias de Uso Eficiente y Ahorro de Agua en Centros Educativos*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- CEPAL. (2010). *Metodologías de cálculo de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones en América Latina*. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDas_calculo_HC_AL.pdf;jsessionid=2442EC1FE567B36025C42A8522E579E8?sequence=1. 12/09/2017.
- Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2016). *Guía sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Escaleras Mecánicas y Andenes Móviles*. Recuperado de https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia_sobre_AEE_en_Escaleras_Mecanicas_y_Andenes_Moviles-fenercom_2016.pdf
- ELECGALÁPAGOS. (2018). *Empresa Eléctrica Provincial de Galápagos*. Galápagos, Ecuador: ELECGALÁPAGOS. Recuperado de <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/quienes-somos/>.

- EPA. (2014). *Greenhouse Gas Inventory Guidance: Direct Fugitive Emissions from Refrigeration, Air Conditioning, Fire Suppression, and Industrial Gases*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/fugitiveemissions.pdf>.
- EPMAPS. (2015). *Pliego Tarifario EPMAPS*. Quito, Ecuador: EPMAPS. Recuperado de https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/pliego_tarifario_epmaps.pdf.
- FAO. (2017). *Soil Organic Carbon The Hidden Potential*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf%20>.
- FAO. (2018). *GLOSIS – GSOCmap. A country-driven approach to map the global soil organic carbon stock*. FAO. Recuperado de <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
- Iberdrola. (2017). *Informe de Gases de Efecto Inverandero 2017*. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/wcorp>.
- IDPI. (2017). *Sustitución R-22*. Coruña, España: IDPI. Recuperado de <http://www.idpi.es/sustitucion-r22.html>.
- IPCC. (2003). *Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc03.pdf>.
- IPCC. (2006). *Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances*. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_7_Ch7_ODS_Substitutes.pdf
- IPCC. (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/tssts-2-1.html.
- IPCC. (2014). *Fifth Assessment Report AR5, Global Warming Potential Values*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>.
- IPCC. (2017). *Emission Factors from Cross Sector Tools March 2017*. Washington, E.U.: Greenhouse Gas Protocol. Recuperado de <http://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database>.
- Japanese Business Alliance for Smart Energy Worldwide. (2015). *Escaleras Eléctricas Ecológicas*. Recuperado de <https://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies/pdf/office/O-29.pdf>.
- Macías, M. y Rojas, M. (2013). La ingeniería y el manejo sustentable de residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Civil*, (528), 14-18. Recuperado de https://issuu.com/cicm_oficial/docs/cicm-revista-ic-abr-13-528
- Massoni, V. (2012). *Ascensor, consumo, potencia y energía*. Buenos Aires, Argentina: Cámara de Ascensores. Recuperado de <http://www.camaradeascensores.com.ar/index.php/component/content/article/36-notas-destacadas/131-el-ascensor-potencia-consumo-energia>

- Metacalf y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill
- Naciph, K., Rivadeneira, L., y Cazorla, M. (2013). Cálculo de las emisiones de CO₂ de la Universidad San Francisco de Quito pertenecientes al rubro de transporte estudiantil del Segundo Semestre 2012-2013. *Avances*, 5(2), C1-C4. Recuperado de: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/issue/view/issue/13/13>
- NC State. (2018). *Alternative Transportation*. North Carolina, E.U.: NCSU Transportation. Recuperado de <http://www2.acs.ncsu.edu/trans/wolftrails/student-commuter.html>.
- Parra, R. (2013). Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2011. *Avances*, 5(1):C39-C42. Recuperado de: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/129>
- Planta Física. (2018). *Documentos varios y registros de diferentes fuentes de emisión*. Documentos físicos obtenidos del departamento de planta física desde septiembre de 2017 hasta junio de 2018.
- Princeton University. (2018). *Transportation and Parking Services*. New Jersey, E.U.: Princeton University. Recuperado de: <https://transportation.princeton.edu/revise-your-ride>
- Refecol. (2014). *Refrigerante R-22, Ficha Técnica*. Recuperado de: <http://www.refecol.com.ec/wp-content/uploads/2014/06/FichaTecnica-R22.pdf>.
- SAC. (2012). *Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero*. Recuperado de: <https://www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/Emisiones%20Mundiales%20de%20Gases%20de%20efecto%20invernadero.pdf>.
- Salazar, F. (2015). *Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2015* (tesis de Pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Silva, D., Erazo, J., y Pinzón, T. (2017). Estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio facultad de ciencias ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. *Luna Azul*, (44), 153-164. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php/english-version/91-coleccion-articulos-espanol/225-estimacion-de-la-demanda-de-agua-en-centros-educativos>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1998). *Integrated Solid Waste Management*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill
- The Chemours Company. (2018). *Sustitutos del R-22*. México D.F., México: Chemours. Recuperado de https://www.chemours.com/Refrigerants/es_MX.
- Titze, S., Stronegger, W., Janschitz, S., y Oja, P. (2016). Environmental, Social, and Personal Correlates of Cycling for Transportation in a Student Population. *Journal of Physical Activity and Health*, 4(1), 66-79. Recuperado de <https://journals.humankinetics.com/doi/pdf/10.1123/jpah.4.1.66>

- USACH. (2016). *Huella de Carbono 2013 Universidad de Santiago de Chile. Reporte Corporativo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado de: http://rsu.usach.cl/sites/rsu/files/documentos/resumen_ejecutivo_reporte_huella_de_carbono_universidad_de_santiago_de_chile_2013.pdf
- USEPA. (2017). *Greenhouse Gases at EPA*. Recuperado de <https://www.epa.gov/greeningepa/greenhouse-gases-epa>.
- USFQ. (2014). *Sustainability Report Universidad San Francisco de Quito: baseline year 2012*. Quito, Ecuador.
- USFQ. (2015). *Resumen: Planes de Manejo Ambiental de los Residuos USFQ*. Departamento de Ingeniería ambiental. Quito, Ecuador.
- USFQ. (2017). *Calendario Académico USFQ 2016-2017*. Quito, Ecuador: USFQ. Recuperado de: <https://account.usfq.edu.ec/Public/calendario.pdf>.
- Velasco, M. (2017). *A System Dynamics Approach for Modelling Water Consumption at USFQ* (tesis de Pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The Green House Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Recuperado de: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>