

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO (USFQ)

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Actualización de la huella de carbono de la Universidad San
Francisco de Quito para el año 2015**

Proyecto de Investigación

Felipe Santiago Salazar Dueñas

Ingeniería Ambiental

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

Quito, 18 de diciembre de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Actualización de la huella de carbono de la Universidad
San Francisco de Quito para el año 2015**

Felipe Santiago Salazar Dueñas

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Valeria Ochoa-Herrera , P.H.D

Firma del profesor

Quito, 18 de diciembre de 2015

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: Felipe Santiago Salazar Dueñas

Código: 00104100

Cédula de Identidad: 1715732226

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2015

RESUMEN

La Universidad San Francisco de Quito (USFQ), en los últimos años se ha convertido en una institución comprometida con el desarrollo sostenible, por lo que un nuevo estudio se necesitó para evaluar nuestras emisiones de carbono correspondientes al año 2015. USFQ está seriamente comprometida en optimizar el manejo y consumo de agua, energía, combustible y desechos, con el objetivo de convertirse en un campus inteligente. En este estudio la actualización de la huella de carbono correspondiente al año 2015 fue calculada y comparada con los datos obtenidos de la línea base correspondiente al año 2012. La huella de carbono fue calculada en base a una estimación de las emisiones másicas de CO₂, causadas por diferentes rubros de distintas operaciones realizadas por estudiantes, docentes y personal administrativo. Para este estudio, se consideraron las emisiones derivadas del consumo energético, de la generación y tratamiento de aguas residuales, generación y tratamiento de residuos sólidos urbanos, consumo de combustibles, y transporte (terrestre y aéreo) de estudiantes, profesores y personal administrativo. Los datos fueron obtenidos de los registros de consumo de agua, electricidad, y combustibles. Adicionalmente, se realizó una encuesta electrónica para generar información primaria del transporte de toda la comunidad USFQ. Diferentes metodologías de cálculo fueron aplicadas dependiendo del tipo de rubro analizado; cálculos basados en el método del factor de emisión para el consumo de combustible y energía, degradación aerobia biológica de la materia orgánica presente en agua y degradación anaerobia de la materia orgánica presente en residuos. Los resultados finales indican que en el 2015, cada miembro estudiantil contribuyó con una generación de 0.68 t CO₂ al año, y cada miembro docente y administrativo contribuyó con una generación de 0.84 t CO₂ al año. Comparando con la línea base 2012, se encontró una reducción en la emisión por estudiante por un factor de 1.18. En total, la USFQ emite hacia la atmósfera 6225.41 t CO₂ anuales, siendo la mayor contribución el transporte terrestre (incluyendo toda la comunidad) con un aporte del 68%, seguido por la generación de energía 17.1%, transporte aéreo 8.6%, tratamiento de residuos sólidos urbanos 4.2%, combustión de combustibles in-situ 1.5%, y tratamiento de agua residual 0.6%.

Palabras clave: Emisiones de CO₂, USFQ, AR, RSU, CO₂, CH₄, IPCC, GEI, PTAR, Factor de Emisión

ABSTRACT

Universidad San Francisco de Quito (USFQ), in the last years had become an institution committed in sustainability development. In order to fulfill this commitment, a new study was needed to evaluate our own carbon emissions corresponding to year 2015. USFQ is determined to become a smart campus by optimizing water, energy, fuel, and waste management. In this study, USFQ's carbon footprint was calculated for the year 2015 and compared to data obtained from the baseline year of 2012. The C-foot-print was calculated based on an estimate of the CO₂ mass emissions generated by the different operational areas within the university and all of its users (students, teachers, and other administrative bodies). For this specific study, the following emissions were considered: energy consumption, wastewater generation, solid waste generation, fuel consumption, and the users' mobility (land and air modes of transportation). The data was collected from the different consumption records including those concerning water, energy, and fuel consumption. In addition, an electronic survey was conducted to generate primary information of transportation of USFQ community. Different methodologies and calculations were applied depending on the source analyzed; factor emission based calculations for fuel and power consumption, aerobic biological degradation of organic matter in water, and anaerobic degradation of organic matter from solid wastes treatment. The final results indicate that in 2015 each student contributed to 0.68 t CO₂, while teachers and administrative bodies contributed to 0.84 t CO₂. Comparing these results to baseline year 2012, we found a reduction by a factor of 1.18 of the emissions contributed by student. Overall, in 2015, Universidad San Francisco de Quito has emitted to the atmosphere a total of 6225.41 t CO₂, from which the largest contribution comes from the land mobility (including all users), representing a 68% of this total value; followed by 17.1% from electric consumption, 8.6% from air transportation, 4.2% from solid wastes treatment, 1.5% from fuel combustion *in-situ* and 0.6 from wastewater treatment.

Key words: CO₂ emissions, USFQ, AR, RSU, CO₂, CH₄, IPCC, GEI, PTAR. Emission Factor

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 4 |
| Abstract | 5 |
| Índice de Tablas | 7 |
| Índice de Figuras | 8 |
| Introducción | 9 |
| Materiales y Métodos | 15 |
| Generación de emisiones de CO₂ a partir del consumo de energía | 16 |
| Generación de emisiones de CO₂ a partir del consumo de combustibles | 17 |
| Generación de emisiones de CO₂ a partir del tratamiento del agua residual | 18 |
| Generación de emisiones de CO₂ a partir del tratamiento de residuos | 20 |
| Generación de emisiones de CO₂ a partir de transporte | 24 |
| Terrestre | 24 |
| Aéreo | 26 |
| Metodología filtro de encuestas electrónicas | 27 |
| Resultados y Discusiones | 28 |
| Conclusiones | 47 |
| Agradecimientos | 48 |
| Referencias Bibliográficas | 49 |
| Anexo | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1: Coeficientes estequiométricos correspondientes a la ecuación simplificada de la oxidación de la biomasa (5)..... | 19 |
| Tabla 2: Población estudiantil, docente y personal administrativo durante el año 2015 (año calendario) | 21 |
| Tabla 3: Caracterización de RSU en la USFQ..... | 22 |
| Tabla 4: Características típicas de biodegradabilidad, % sólidos volátiles y humedad de los RSU establecidos por Tchobanoglous | 23 |
| Tabla 5: Cantidad de RSU producidas en el 2015 (toneladas) | 35 |
| Tabla 6: Toneladas de CO₂ generadas por rubro de transporte de la comunidad USFQ correspondientes al año 2015 | 40 |
| Tabla 7: Emisiones de CO₂ por Alcances 1, 2 y 3, siendo el alcance 1 de fuentes directas, y los alcances 2 y 3 de fuentes indirectas, de la comunidad USFQ correspondientes al año 2015 | 41 |
| Tabla 8: Emisiones de CO₂ por estudiante y facultad correspondientes al año 2015 (8025 estudiantes y 913 profesores y personal administrativo) | 42 |
| Tabla 9: Comparación de huella de carbono línea base 2012 y actualización año 2015 | 44 |
| Tabla 10: Comparación emisiones entre FGCU y USFQ por alcance | 46 |
| Tabla 11: Consumo de combustible en Ecuador 2014..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1: Consumo energético mensual en kWh de la USFQ campus Cumbayá correspondiente al año 2015..... | 29 |
| Figura 2: Emisiones t CO₂ mensual en la USFQ campus Cumbayá asociadas al rubro energético correspondiente al año 2015 | 30 |
| Figura 3: Consumo hídrico mensual en litros de la USFQ campus Cumbayá correspondiente al año 2015 | 31 |
| Figura 4: Emisión t CO₂ mensual en la USFQ campus Cumbayá asociado al rubro de generación de AR correspondiente al año 2015 | 33 |
| Figura 5: Distribución medio de transporte estudiantil correspondiente al año 2015 | 37 |
| Figura 6: Distribución estudiantil número de viajes semanal correspondiente al año 2015 | 37 |
| Figura 7: Distribución medio de transporte profesores y personal administrativo correspondiente al año 2015..... | 38 |

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el planeta Tierra se encuentra experimentando una nueva amenaza global conocida como el cambio climático. Desde la Revolución Industrial (1760-1840), la humanidad ha consumido los recursos limitados del Planeta Tierra a una tasa elevada [14]. Este consumo desconsiderado está dejando su huella en el ambiente, contribuyendo así, con diversos cambios en el clima, cambios que según varios, se atribuyen a la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera [14]. Según la NASA, 97% de los expertos en esta área afirman que el cambio climático es una amenaza real [20].

El efecto invernadero se define como el proceso en el cual los GEI atrapan el calor que proviene de diversas fuentes y mantienen caliente la temperatura superficial del planeta Tierra [14]. La mayoría de los GEI se encuentran de manera natural en la atmósfera; sin embargo, los niveles de concentración presentes en la atmósfera han incrementado en los últimos años debido a diversas actividades antropogénicas [14].

El dióxido de carbono (CO_2), es el principal GEI antropogénico que contribuye a la elevación del nivel total de concentración de GEI en la atmósfera, y por lo tanto, al cambio climático como tal [14]. Este gas se encuentra de manera natural en la atmósfera debido al ciclo del carbón [21]. Sin embargo, las actividades humanas, tal como lo es la utilización de combustibles fósiles para la generación de energía, han contribuido a que los niveles preexistentes encontrados en la atmósfera incrementen en nuestro planeta [22]. De acuerdo al IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), las fuentes principales de CO_2 son: generación de electricidad, transporte terrestre, aéreo, y marítimo, actividades industriales,

actividades comerciales y residenciales, y otras combustiones no asociadas a combustibles fósiles [22]. La tabla histórica de dióxido de carbono de la NASA, muestra que la concentración de CO₂ nunca ha estado por encima de los 300 ppm, sin embargo, entre los años 1950 y 2014, las actividades humanas han sido la razón principal por el incremento de aproximadamente 100 ppm al momento. El valor actual según la NASA es de 401.58 ppm [23].

La mayoría de los GEI pueden permanecer en la atmósfera por cientos de años o más, afectando así no solo las generaciones del presente, sino, las futuras también [24]. Siendo las emisiones de CO₂, un factor de gran influencia sobre el cambio climático, es imprescindible que diferentes empresas, organizaciones e instituciones de educación superior calculen su huella de carbono para conocer la magnitud en la cual estas entidades aportan al cambio climático [25]. Calcular la huella de carbono, es fundamental para conocer este aporte, y de acuerdo a la magnitud de este, optimizar diferentes procesos y crear conciencia en la comunidad interna con el objetivo de reducir la emisión total de CO₂.

Al calcular la huella de carbono, se tiene que tomar en cuenta las fuentes emisoras que se analizan en la misma. Estas fuentes de GEI pueden ser directas o indirectas. Una emisión directa se define como aquella emisión que proviene de una fuente que es propiedad o que está bajo el control directo de la institución, es decir, las emisiones *in situ* [26]. Por otro lado, una emisión indirecta es aquella que se da en consecuencia de las actividades de la institución, fuera de la misma, pero que de igual manera, puede ser controlada por la institución [26]. El cálculo de la huella de carbono se lo realiza tomando en

consideración tres diferentes alcances según el Registro Climático General de Informes de Protocolo [26]. El alcance 1 aborda las emisiones directas de GEI, que se dan dentro de la institución. El alcance 2 aborda las emisiones indirectas de GEI asociadas a la energía comprada y consumida. El alcance 3 aborda otras emisiones indirectas que no están asociadas con el consumo energético [26]. En este estudio, los rubros analizados para el alcance 1 fueron: consumo de diésel, GLP, gasolina (nafta), y CH₄ emitido de desechos. En el alcance 2 se calculó las emisiones asociadas a la energía comprada y consumida. Finalmente, en el alcance 3 se calculó las emisiones asociadas a: CO₂ emitido de residuos sólidos urbanos, transporte terrestre y viajes aéreos de los estudiantes, facultad, y personal administrativo; y las emisiones asociadas al consumo, generación, y tratamiento de aguas residuales (AR).

La sostenibilidad comparativa institucional (benchmarking) en instituciones de educación superior tuvo sus inicios en Norte América [19]. Desde entonces, muchos otros países han adoptado la idea al poner en práctica el desarrollo sustentable, identificando áreas críticas dentro de sus instituciones, mediante diversas técnicas empleadas [19]. Por lo tanto, es imperativo seguir los modelos planteados, y realizar prácticas sustentables en instituciones de educación superior, tal como lo es la USFQ, para así, ser un modelo a seguir para nuestros actuales y futuros profesionales y líderes del país. Para la USFQ, es importante identificar las áreas críticas dentro del campus Cumbayá, para poder evaluar e implementar proyectos sustentables [19]. Junto a los programas de eficiencia, optimización, reciclaje, y otros; el desarrollo sostenible dentro de la USFQ puede jugar un papel fundamental en el futuro de nuestros graduados y docentes. De esta forma, la USFQ seguirá siendo un modelo

a seguir en el desarrollo sostenible en instituciones de educación superior en el país y en la región Andina.

La Universidad San Francisco de Quito (USFQ) ha sido reconocida como una institución de educación superior que se caracteriza por ser un laboratorio sostenible, fomentando un comportamiento responsable entre los jóvenes-adultos, quienes en un futuro serán líderes de nuestras comunidades. En diciembre del 2013, un grupo de profesionales de la universidad elaboraron el Primer Reporte de Sustentabilidad teniendo al año 2012 como línea base [3]. De esta manera, la USFQ se unió al Piloto Internacional de Sustainability Tracking, Assesment & Rating System (STARS), obteniendo un reconocimiento por parte de AASHE (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) con el estatus de "STARS REPORTER" [3]. La USFQ es la primera universidad en Sudamérica en obtener el reconocimiento STARS y es un referente en temas de sostenibilidad e innovación tanto a nivel nacional como regional y está comprometida en convertirse en un campus sustentable, en un campus inteligente.

La USFQ, considera que el desarrollo sustentable es aquella visión en donde el crecimiento de los negocios y las necesidades de la sociedad deben ser balanceados, controlando así el consumo de los recursos limitados y manteniendo la calidad de vida de las personas en el tiempo [3]. Uno de los componentes más importantes para evaluar las acciones tomadas por la universidad para convertirse en un campus inteligente, es el cálculo de la huella de carbono; evaluando, de esta manera, los impactos que generan las diferentes operaciones de esta institución en el ecosistema. En el Primer Reporte de Sustentabilidad

de la USFQ se realizó el cálculo de las emisiones másicas totales de CO₂, generadas por los rubros de: consumo energético, consumo hídrico, consumo de combustibles (gasolina, diésel, GLP), generación de residuos sólidos urbanos (RSU), y transporte (terrestre y aéreo) de la población estudiantil, docente y administrativa de la USFQ, correspondiente al año 2012. En este estudio se actualizó la huella de carbono de la USFQ teniendo como base el año 2015 incluyendo únicamente las operaciones dentro del campus Cumbayá, delimitado por las siguientes calles: Pampite al norte, Chimborazo al este. Francisco de Orellana al sur y Diego de Robles al occidente [3]. Los datos empleados corresponden al segundo semestre 2014-2014, verano 2015, y primer semestre 2015-2016.

El objetivo principal de este estudio es actualizar la huella de carbono de la USFQ para el año 2015. La huella de carbono será calculada analizando diferentes rubros por separado para conocer el aporte de cada uno de ellos y poder en un futuro cercano establecer las áreas prioritarias para reducir el impacto al medio ambiente y caminar hacia convertirnos en un campus inteligente. En este estudio se presentarán los cálculos de las emisiones de CO₂ correspondientes a la USFQ por rubro de energía, consumo de combustibles, transporte terrestre y aéreo, degradación biológica teórica de la materia orgánica presente en el agua residual, y la degradación anaerobia de la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos. Este estudio también tiene como objetivo comparar la huella de carbono actual, con la huella calculada para el año base 2012 [3]. Para que la USFQ pueda convertirse en un campus sostenible, es imperativo comparar el rendimiento que ha tenido la institución dentro de este periodo de tiempo. La actualización de la huella de carbono nos permite evaluar el rendimiento actual y desarrollar acciones a

futuro con el objetivo de optimizar programas sustentables. Conjuntamente, la USFQ cree que es importante compararnos con otras universidades dentro de la región, sin embargo no están a disposición reportes aceptados por AASHE en nuestra región. Sin embargo, se realizó una comparación de los resultados obtenidos con la Universidad de la Costa del Golfo de Florida, ubicada en Fort Myers, Estados Unidos, tomando en cuenta que el número de estudiantes totales son semejantes en ambas universidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cálculo de la huella de carbono correspondiente al año 2015, se realizó empleando la herramienta de oficina Excel, creando diferentes hojas de cálculo automatizadas, con el objetivo de simplificar futuros procesamientos de datos.

Los datos para los rubros de transporte terrestre y aéreo, provienen de una encuesta electrónica realizada a toda la población estudiantil y docente aplicada en noviembre del 2015.

Los datos para los rubros de consumo de energía eléctrica y consumo de agua provienen de las respectivas empresas públicas “Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento” (EPMAPS) y “Empresa Eléctrica Quito SA” (EEQ). Los datos obtenidos del consumo de combustibles provienen del registro universitario de consumos y pagos.

Los métodos analíticos empleados se emplearon siguiendo la metodología utilizada en el cálculo de la huella de carbono para el Primer Reporte de Sustentabilidad teniendo al año 2012 como línea base [3]. Estas metodologías fueron desarrolladas por varios profesionales de la USFQ, entre ellos el Dr. Rodny Peñafiel, la Dra. Valeria Ochoa-Herrera, la Dra. María del Carmen Cazorla y el Dr. René Parra.

Generación de emisiones de CO₂ a partir del consumo de energía

En este estudio, se calcularon las emisiones de CO₂ por compra y uso de electricidad dentro de la universidad, utilizando la metodología desarrollada en el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ por el Dr. René Parra [3]. Los datos fueron proporcionados por el proveedor público local, “Empresa eléctrica Quito SA”. En conjunto, para obtener el aporte de emisión de CO₂ debido al rubro de consumo energético, se calculó el factor de emisión de acuerdo al informe de la Agencia de Regulación y Control (ARCONEL) correspondiente al año 2014 [1]. Para este cálculo se utilizó la tabla de consumo de combustibles en el Ecuador, donde constan los datos de generación nacional de energía a partir de: Fuel oil, diésel, nafta, gas natural, residuo, crudo, GLP (Gas licuado de petróleo), y bagazo de caña [1]. El factor de emisión fue calculado siguiendo la metodología propuesta por el Dr. René Parra en su estudio: “Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-20011” [5] con la siguiente ecuación (1)

$$FE \text{ CO}_2 \text{ nacional} = \frac{\sum t \text{ CO}_2 \text{ de cada fuente (de las nombradas)}}{\text{Generacion de electricidad 2014 GWh}} \quad (1) \quad [5].$$

$$FE \text{ CO}_2 \text{ nacional} = 342.3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}}$$

El factor de emisión para el año 2014 fue de 342.3 g CO₂ kWh⁻¹. Utilizando este factor se obtienen las toneladas de CO₂ emitidas por rubro energético con la ecuación (2).

$$E = \frac{C * FE}{10^6} \quad (2)$$

Donde:

E: Emisión (t CO₂)

C: Consumo energético (kWh)

FE: Factor de emisión (g CO₂ kWh⁻¹)

Generación de emisiones de CO₂ a partir del consumo de combustibles

El cálculo de emisión de CO₂ por el consumo de combustibles se realizó teniendo en consideración los tres tipos de combustibles que la universidad compra por separado para diversos usos: gasolina (nafta), diésel y gas licuado de petróleo (GLP). De acuerdo a lo establecido en el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ por el Dr. René Parra [3], para el cómputo se relacionaron los diferentes factores como son: la densidad, el factor de emisión, y el poder calorífico de cada tipo de combustible, respectivamente. La ecuación (3) se utilizó para obtener la emisión con respecto a los rubros de: gasolina y diésel [3,5].

$$E = C \times PC \times \rho \times FE \quad (3)$$

Donde:

E: Emisión (t CO₂)

C: Consumo (gal)

PC: Poder calorífico (TJ kg⁻¹)

ρ : Densidad (kg gal⁻¹)

FE: Factor de emisión (kg CO₂ TJ⁻¹)

El cálculo correspondiente a la emisión por consumo de GLP fue realizado con la ecuación (4) [3].

$$E = C \times PC \times FE \quad (4)$$

Donde:

E: Emisión (t CO₂)

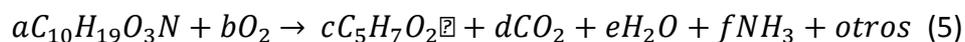
C: Consumo (kg)

PC: Poder calorífico (TJ kg⁻¹)

FE: Factor de emisión (kg CO₂ TJ⁻¹)

Generación de emisiones de CO₂ a partir del tratamiento del agua residual

La metodología para el cálculo de las emisiones de CO₂ con respecto a la generación de agua residual (AR) se basa en la oxidación aeróbica de la materia orgánica propuesta por Metcalf & Eddy [2] y desarrollada por la Dra. Valeria Ochoa-Herrera en el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ [3]. La contribución de CO₂ con respecto a la generación de agua residual se calculó teóricamente, asumiendo que las aguas residuales generadas dentro de la USFQ serán descargadas en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipal. La siguiente ecuación (5) simplificada de la oxidación de la biomasa se utiliza para obtener la emisión previamente mencionada [2].



En donde la materia orgánica presente en el AR se degrada por acción de las bacterias aeróbicas; generando: biomasa ($C_5H_7O_2N$), dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), amoníaco (NH_3) y otros productos adicionales. Los factores a , b , c , d , e y f corresponden a los coeficientes estequiométricos respectivos mostrados en la Tabla 1 asumiendo una base de cálculo de 1 mol de materia orgánica de acuerdo a lo establecido por Metcalf & Eddy [2].

Tabla 1: Coeficientes estequiométricos correspondientes a la ecuación simplificada de la oxidación de la biomasa (5)

| Compuesto | Mol |
|--------------------|------|
| $C_{10}H_{19}O_3N$ | 1 |
| O_2 | 8.94 |
| $C_5H_7NO_2$ | 0.71 |
| CO_2 | 6.44 |
| H_2O | 6.58 |
| NH_3 | 0.29 |

Para este cálculo, se utilizó la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual doméstica generada en Quito, reportada por Benítez y Ochoa-Herrera, con un valor de 0.9 g L^{-1} [12]. Adicionalmente, se consideró que el 90% de la materia orgánica es biodegradable como lo propone Metcalf & Eddy [2].

A partir de la multiplicación entre la DQO y la proporción de materia orgánica degradada, se obtuvo la materia orgánica degradada por litro de agua residual tratada.

Utilizando 1 mol de materia orgánica como base de cálculo se determinó la cantidad de biomasa generada, y en base a la relación estequiométrica establecida en la ecuación (4), se calculó la cantidad de CO₂ generada por cada litro de agua tratada. Finalmente a este valor se lo multiplicó por el consumo de agua en litros, proporcionada por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS); obteniendo de esta manera, la emisión teórica de CO₂ hacia la atmosfera proveniente de la generación de AR de la USFQ.

Generación de emisiones de CO₂ a partir del tratamiento de residuos

La generación de emisiones de CO₂ a partir del tratamiento de residuos fue calculada a partir de la metodología desarrollada por el Dr. Rodny Peñafiel en el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ [3]. Para la caracterización de los residuos sólidos urbanos (SRU) de la USFQ, se tomó como muestra referencial los desechos generados un día al azar dentro de la universidad. Se realizó la separación de los residuos y se determinó su peso en kilogramos. Dentro de la caracterización, se tomó en cuenta el material reciclado, dado que algunos de estos desechos (orgánicos, botellas, papel y cartón) son gestionados por el personal de la universidad. Cabe señalar, que en esta caracterización no fueron tomados en cuenta los residuos bio-infecciosos provenientes de los laboratorios de investigación y enseñanza de la USFQ.

El año estudiantil empleado fue de 227 días de clase divididos en tres periodos estudiantiles descritos en la tabla 2. La caracterización fue realizada en el periodo de enero-mayo (Segundo semestre 2014-2015). Una corrección para los siguientes periodos fue realizada, en donde se tomó en cuenta el número de días; y de profesores y estudiantes. En

el periodo junio-julio hubo 44 días de clase, 3172 estudiantes y 409 profesores/personal administrativo; y en el periodo agosto-diciembre hubo 92 días de clase, 8025 estudiantes, y 913 profesores/personal administrativo.

Tabla 2: Población estudiantil, docente y personal administrativo durante el año 2015 (año calendario)

| Periodo | Días | Estudiantes | Profesores | Estudiantes y Profesores |
|------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Enero-Mayo | 91 | 7224 | 860 | 8084 |
| Junio-Julio | 44 | 3172 | 409 | 3581 |
| Agosto-Diciembre | 92 | 8025 | 913 | 8938 |

La Tabla 3 muestra la generación en peso (kg) al día de cada residuo a ser analizado; esta caracterización fue realizada por diversos estudiantes del departamento de ingeniería ambiental supervisados por el Dr. Rodney Peñafiel [4].

Tabla 3: Caracterización de RSU en la USFQ

| Composición | Peso (kg día ⁻¹) |
|--------------------|------------------------------|
| Papel | 118.5 |
| Cartón | 7.0 |
| Plástico mezclado | 70.36 |
| Residuos de jardín | 98.2 |
| Madera | 4.67 |
| Metal y latas | 5.29 |
| Orgánico | 310.17 |
| Vidrio | 25.79 |
| Otros | 18.11 |
| Total | 658.1 |

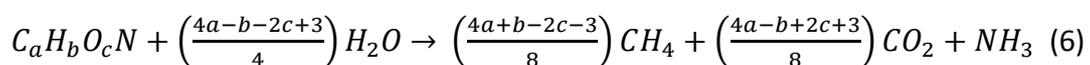
En base a los resultados de la Tabla 2, se realizó la corrección para el análisis de cada ciclo lectivo por separado teniendo en consideración los días en cada periodo estudiantil, y la población USFQ en cada uno de dichos periodos. Una vez obtenida la tabla de generación total, se consideró la fracción de los componentes que se desvían en el programa de reciclaje de la USFQ propuesta por el Dr. Rodny Peñafiel [6]. Los porcentajes desviados con respecto a los diferentes RSU generados dentro de la USFQ son los siguientes: papel 10%; cartón 50%, plástico 2%, residuos de jardín 15%, y residuos orgánicos 30% [6]. Una vez obtenida la cantidad total de RSU generados sin contar el porcentaje reciclado, se utilizó la metodología propuesta por Tchobanoglous, considerando la biodegradabilidad y el porcentaje de sólidos volátiles de los componentes de los RSU de acuerdo a la Tabla 4 [7].

Cabe recalcar que también se tomó en consideración que el 95% de la fracción biodegradable se convirtió anaeróbicamente en CH₄ y CO₂ [7].

Tabla 4: Características típicas de biodegradabilidad, % sólidos volátiles y humedad de los RSU establecidos por Tchobanoglous

| Componente | % Biodegradable | % Sólidos volátiles | Humedad (%w bh) |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Papel | 82 | 98 | 6 |
| Cartón | 47 | 93 | 5 |
| Residuos de jardín | 88 | 88 | 50 |
| Madera | 13 | 68 | 20 |
| Residuos Orgánicos | 82 | 97 | 70 |

A partir de la composición de RSU, de la fracción desviada de RSU, de la biodegradabilidad, de datos típicos de humedad, y de la composición elemental de las fracciones, se determinó la ecuación general (6), que corresponde a los desechos que serán enviados al relleno sanitario [6,7].



En base a la ecuación (6) se estima la cantidad teórica de CH₄ y CO₂ que se generaría a partir de la fracción biodegradable de los residuos sólidos hasta alcanzar su estabilización respectiva en el relleno sanitario [6]. La generación de metano también fue considerada ya que este compuesto es un GEI. Para obtener la equivalencia de CH₄ en CO₂ eq, se multiplica

la emisión obtenida de metano, por el factor potencial de cambio climático del metano, recomendado por la IPCC en su último informe que fue de 21 [13].

Generación de emisiones de CO₂ a partir de transporte

La metodología empleada para determinar las emisiones de CO₂ a partir del transporte terrestre y aéreo de los miembros de la USFQ fue calculada en base a la metodología propuesta por la Dra. María del Carmen Cazorla y colaboradores descritos en el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ [3] y en los dos artículos científicos “Cálculo de las emisiones de CO₂ de la Universidad San Francisco de Quito pertenecientes al rubro de transporte estudiantil del Segundo Semestre 2012-2013” [27] y “Cálculo de las emisiones de CO₂ perteneciente al rubro de transporte del personal docente y administrativo de la Universidad San Francisco de Quito durante el Segundo Semestre 2013-2014” [8].

Terrestre

La información sobre el tipo de modos de transporte de los miembros de la USFQ fue generada a partir de una encuesta electrónica realizada a toda la población estudiantil, docente y administrativa de la USFQ campus Cumbayá en noviembre del 2015. Con respecto al rubro de estudiantes, una vez obtenida una muestra referencial al 70% de la población total (aproximadamente 6000 encuestas), se prosiguió a filtrar las encuestas correctamente respondidas. Se obtuvo un número final de 1500 encuestas (muestra representativa del 19%) a ser tomadas en cuenta para realizar los cálculos respectivos utilizando la metodología desarrollada por la Dra. María del Carmen Cazorla y colaboradores [8] en base a las

recomendaciones del IPCC para la preparación de inventarios de emisiones de GEI [10]. Para este rubro, se consideró el transporte mediante automóvil, motocicleta y transporte público (bus). Los datos de los automóviles y motocicletas se obtuvieron a partir de 644 encuestas que incluyeron información sobre sector, número de viajes a la semana, número de personas en el automóvil/motocicleta, tipo de combustible, marca del vehículo/motocicleta, modelo, y año del vehículo/motocicleta. Utilizando esta información como referencia, se obtuvo la eficiencia de cada vehículo a ser tomado en cuenta en millas por galón (MPG), del inventario oficial de eficiencia de combustibles de la EPA (US Environmental Protection Agency) [9]. Con la eficiencia de cada vehículo, la densidad del tipo de combustible y la distancia recorrida por el mismo se obtuvo el consumo de combustible semanal por persona [9]. Conjuntamente se utilizaron los datos de poder calorífico y factor de emisión de la gasolina y del diésel establecidos por la IPCC, y utilizados por Parra y Cazorla en sus estudios previos [5,8,10]. Según estos estudios, la gasolina (nafta) tiene un poder calorífico de 44.3 TJ Gg⁻¹ y un factor de emisión de 69300 kg CO₂ TJ⁻¹. Mientras que el diésel tiene un poder calorífico de 43 TJ Gg⁻¹ y un factor de emisión de 74100 kg CO₂ TJ⁻¹.

La emisión másica promedio de CO₂ por persona por semana hacia la atmosfera fue calculada con los datos obtenidos a partir de un total de 1500 encuestas electrónicas y estos resultados fueron extrapolados para 8025 personas, que es la población estudiantil total de la USFQ. Cabe recalcar que una semana educativa corresponde a 5 días semanales, y cada periodo estudiantil es diferente, por lo que fue imprescindible realizar una corrección en base a los datos de la tabla 2. Con respecto al transporte público (bus), se contabilizó un total de 631 encuestas, de las cuales se obtuvieron los datos del sector y del número de

viajes realizados a la semana a la USFQ por persona. Las emisiones promedio de CO₂ por persona por semana correspondiente a los estudiantes que utilizan transporte público fueron calculadas en base a los datos del diésel previamente establecidos y a la distancia recorrida semanalmente.

El cálculo para las emisiones asociadas al transporte de la facultad docente de la universidad fue calculada de la misma manera que el cómputo de la población estudiantil, considerando ciertos cambios. Los datos fueron obtenidos a partir de 120 encuestas ya filtradas, correspondientes a una muestra representativa del 13.14% de la población docente en la USFQ.

Aéreo

Las emisiones de CO₂ fueron calculadas por el transporte aéreo de los viajes nacionales e internacionales realizados por los estudiantes, estudiantes de intercambio (extranjeros y nacionales), docentes y personal administrativo. En el caso de los viajes de los docentes y personal administrativo se asumió viajes de ida y vuelta para los traslados nacionales, internacionales, a la estación científica Tiputini, y al campus de la USFQ en Galápagos. Con respecto a los estudiantes locales de intercambio, se asumió viajes de ida y vuelta solamente para los estudiantes que viajaron al exterior y regresaron dentro del mismo año (estudiantes pertenecientes a la USFQ). Mientras que para los estudiantes extranjeros que ingresaron a la USFQ de intercambio, solo se asumió el vuelo de llegada (estudiantes internacionales). Las emisiones de CO₂ fueron calculadas con la metodología propuesta por la Dra. María del Carmen Cazorla en base a las recomendaciones realizadas

por la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO), en donde se toma en cuenta la eficiencia por asiento en clase económica y el factor de emisión del combustible utilizado por los aviones (Jet Fuel) [8,11,27]. Para los viajes internacionales, se asumió un modelo estándar de avión internacional, el Boeing 737-400 con una eficiencia de 30.61 km persona L^{-1} . Para el caso de vuelos nacionales, se utilizó como referencia el modelo más utilizado dentro del país que es el Airbus A320 con una eficiencia de 32.11 km persona L^{-1} [15,16]. La distancia aérea de vuelo para cada viaje se obtuvo de la calculadora digital de la ICAO [17]. La masa del combustible consumido por persona en cada vuelo fue calculada con la eficiencia por asiento en clase económica, el número de personas, y la distancia recorrida. Una vez obtenida esta cantidad, se utilizó el factor de emisión del combustible de avión jet fuel propuesto por la ICAO, con un valor de 3.15 kg CO_2 kg jet fuel⁻¹, y un factor de conversión de 1000, para obtener la emisión total en t CO_2 [11].

Metodología filtro de encuestas electrónicas

Las encuestas fueron recogidas hasta el 6 de noviembre del 2015, con un total de 6533 encuestas de estudiantes y 145 de profesores. Las encuestas en las que las respuestas fueron escritas con palabras fueron eliminadas. De igual manera, aquellas encuestas con respuestas incoherentes con respecto al número de viajes semanales a la universidad también fueron eliminadas. Finalmente se eliminaron aquellas encuestas en donde los estudiantes, docentes, y personal administrativo no entendieron la pregunta o respondieron de otra forma totalmente diferente a lo requerido.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La huella de carbono de la USFQ fue actualizada teniendo como año base el 2015. Los resultados muestran que en general, las emisiones totales de CO₂ de la USFQ han aumentado desde el año 2012 hasta el año 2015. Sin embargo, esto no quiere decir que la USFQ no ha optado por optimizar el desarrollo sustentable dentro de la institución. Es imprescindible entender que existen factores circunstanciales causantes de este incremento, como lo son: el número total de estudiantes, profesores y personal, el incremento en el número de estudiantes que participan en el programa de intercambio, y las extensiones y nuevas infraestructuras que la USFQ ha implementado en los últimos años.

La energía eléctrica total consumida proveniente de la red pública fue 3106.30 MWh para el año 2015 en la USFQ campus Cumbayá, con un promedio de consumo de 258.86 MWh mensuales. La Figura 1 muestra el consumo mensual a lo largo de todo el año 2015 (en kWh). Claramente se puede observar que los picos más bajos corresponden a los meses de verano en los cuales la universidad se encuentra en el periodo de receso académico y la población estudiantil reduce significativamente.

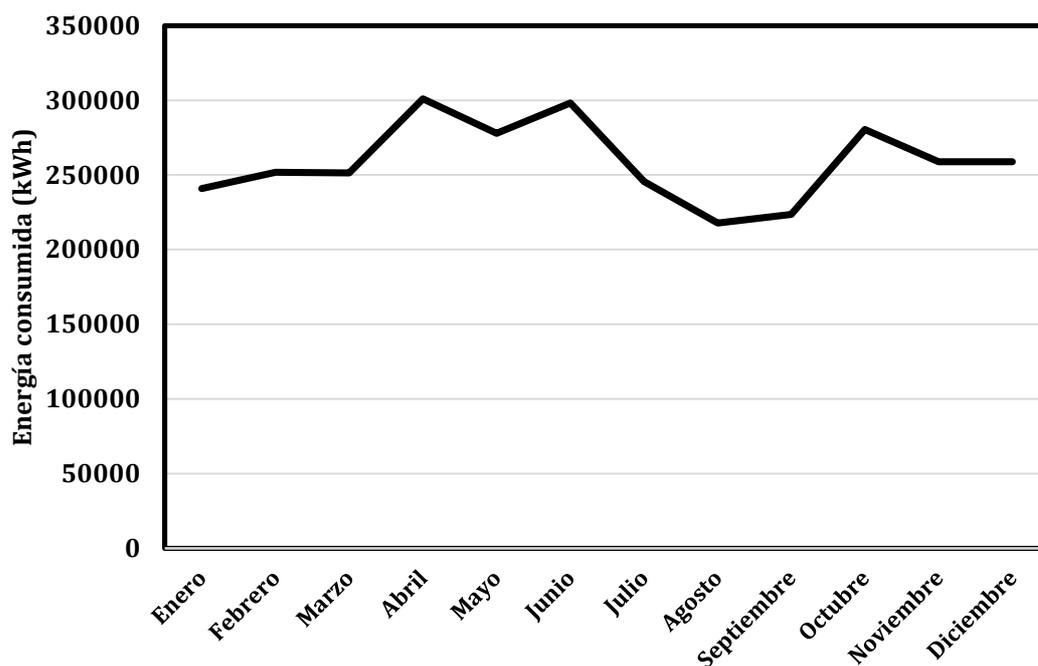


Figura 1: Consumo energético mensual en kWh de la USFQ campus Cumbayá correspondiente al año 2015

A partir del consumo total energético correspondiente al año 2015, se calculó la emisión de CO₂ asociada a este rubro, empleando un factor de emisión descrito en la sección de Métodos y Materiales. En la Figura 2 se presenta las emisiones mensuales t de CO₂. Evidentemente, los meses en los que hay un mayor aporte de emisiones corresponden a aquellos periodos estudiantiles entre enero y junio; y septiembre y diciembre. En los meses de julio y agosto se ve un menor consumo energético, y por ende un menor aporte de emisión. Evidentemente, el comportamiento de las emisiones de CO₂ se asemeja al comportamiento del consumo energético. Las emisiones totales de CO₂ por consumo energético fueron 1063.29 t CO₂ para el año 2015. La emisión correspondiente a este rubro contribuye un 17.1% a la emisión total de CO₂ de todos los rubros analizados.

En el 2012, se generaron 886.51 t CO₂ con respecto a este rubro, considerando los resultados presentados, en el año 2015 la USFQ generó una emisión mayor por un factor de 1.2 veces más t CO₂. Sin embargo, este factor no es tan elevado tomando en cuenta el incremento abrupto en la cantidad de estudiantes entre estos dos periodos y las nuevas instalaciones del campus [3].

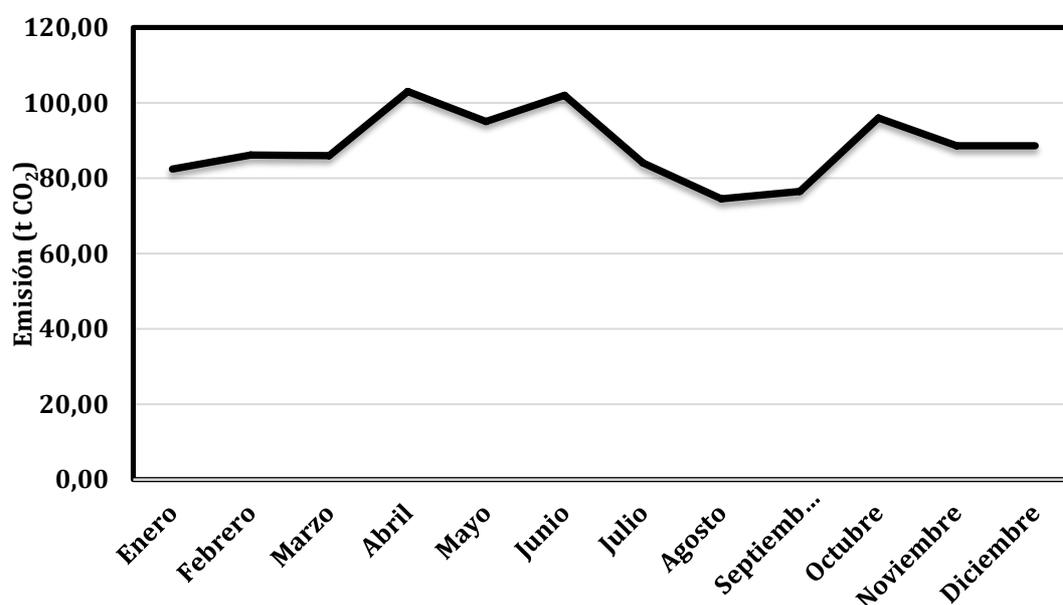


Figura 2: Emisiones t CO₂ mensual en la USFQ campus Cumbayá asociadas al rubro energético correspondiente al año 2015

La cantidad total de agua potable consumida en el año 2015 fue 28268.4 m³, con un consumo promedio mensual de consumo de 2355.7 m³. La Figura 3 muestra el consumo de agua mensual correspondiente al año 2015 para la USFQ campus Cumbayá. En esta gráfica se presenta un suceso ambiguo al obtenido para el consumo energético, se puede observar un incremento de agua consumida en los meses de julio y agosto, en donde la universidad se encuentra en receso académico. Es correcto asumir que el incremento en el número poblacional de estudiantes y docentes de la USFQ no es un factor por el cual el consumo de

agua debería duplicarse. Entonces, se pudo conocer que según el Departamento de Planta Física de la USFQ, ese evento se da que en estos meses hubo una fisura dentro de la laguna de la universidad. Esta fisura, vino asociada a una pérdida de agua dentro de la misma, por lo que la solución más rápida y efectiva tomada por la gente encargada fue rellenarla con agua de consumo. Se puede observar una estabilización desde el mes de septiembre, porque en este mes se hicieron unas adecuaciones para tratar de cerrar las fisuras encontradas, sin embargo, no se ha podido realizar al momento un mantenimiento completo a la laguna, por lo que, a diario, se sigue introduciendo agua en la laguna para evitar que esta se quede sin agua.

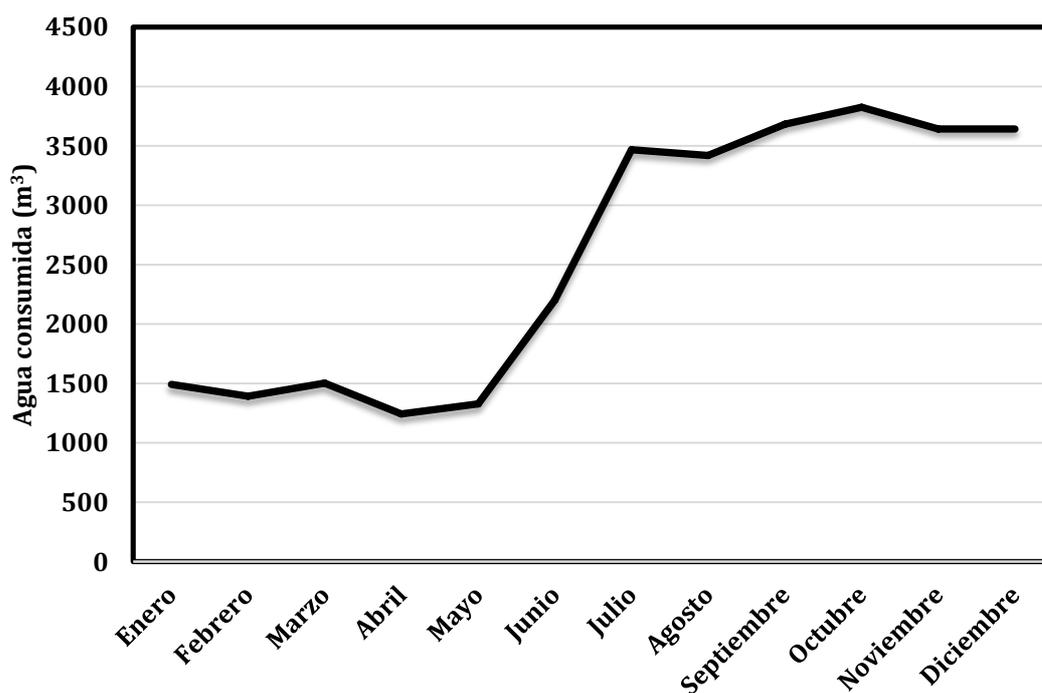


Figura 3: Consumo hídrico mensual en litros de la USFQ campus Cumbayá correspondiente al año 2015

La Figura 4 muestra las emisiones mensuales de CO₂ correspondientes al año 2015. La emisión másica teórica total, para el tratamiento de aguas residuales municipales

asumiendo una DQO de 0.9 g L^{-1} , y un 90% de degradabilidad de la materia orgánica para el año 2015 fue de 35.23 t CO_2 . Este valor representa el 0.6 % de las emisiones totales asociadas a todos los rubros analizados en este estudio. Por lo tanto, la emisión teórica de CO_2 , proveniente de la generación de AR no contribuye de forma importante a la emisión total correspondiente al año 2015. Evidentemente, el comportamiento de la emisión mensual de CO_2 , se asemeja al comportamiento de consumo presentado en la Figura 3.

Según el Primer Reporte de Sostenibilidad realizado en el 2012, la USFQ contribuyó con una emisión de 16.40 t CO_2 , asociado a este rubro [3]. El valor obtenido en el 2015 fue mayor a la emisión obtenida en el 2012, por un factor de 2.15 [3]. De igual manera, este incremento, mayor al doble de emisión, se debe a diferentes razones, una de ellas es el incremento en el consumo de agua por parte de la comunidad USFQ. Conjuntamente, no se puede dejar de lado la razón principal mencionada anteriormente, la pérdida de agua en la laguna de la USFQ, y en consecuencia, el relleno de la misma. También es importante acotar que este incremento no se debe solamente a la cantidad de galones consumidos para el año 2015. Este valor viene también asociado al hecho de que la DQO utilizada para este estudio fue más alta que la utilizada en el cálculo de la huella teniendo al año 2012 como línea base [3]. La DQO analizada por Benítez y Ochoa-Herrera proporciona un valor de 0.9 g/L , mientras que en el anterior reporte se asumió según Metcalf & Eddy un valor de 0.5 g/L [2,12].

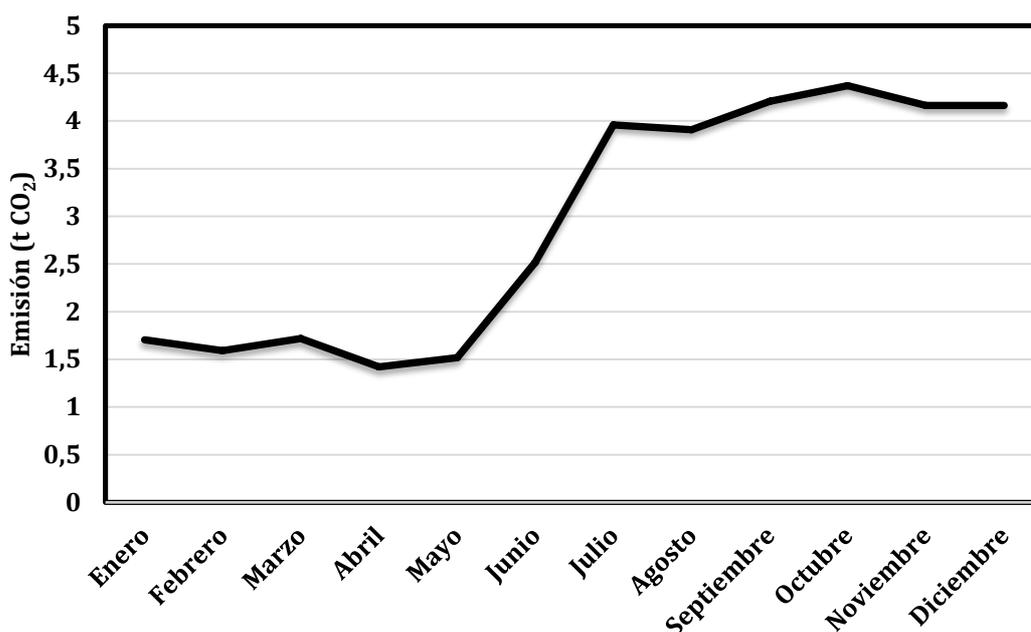


Figura 4: Emisión t CO₂ mensual en la USFQ campus Cumbayá asociado al rubro de generación de AR correspondiente al año 2015

Las emisiones correspondientes al consumo total de combustibles utilizados para generadores eléctricos y restaurantes en la USFQ representan un pequeño porcentaje en comparación a las emisiones totales de CO₂. El consumo de gasolina generó 24.77 t CO₂, el consumo diésel generó 24.54 t CO₂, y el consumo de GLP generó 43.89 t CO₂. En conjunto, todas representan el 1.5% del total de las emisiones de CO₂.

Estas emisiones obtenidas también tuvieron ciertas variaciones con respecto a los resultados del cálculo presentado en el Primer Reporte de Sostenibilidad correspondiente al año 2012. La emisión debido a la gasolina (nafta) utilizada se mantuvo muy estable, puesto que esta incrementó por un factor de 1.07 [3]. Las emisiones correspondientes al consumo de diésel y GLP, por otro lado, disminuyeron por factores de 4.32 y 2.34 respectivamente [3]. Este cálculo viene asociado a la compra directa de estos recursos, sin embargo, según los datos proporcionados, se puede observar que durante los meses de enero y julio, el

consumo de ambos combustibles mencionados al último es bastante poco comparado al consumo en los meses entre agosto y diciembre (no hubo compra de GLP en los primeros meses). Por ende, es correcto asumir que parte del combustible comprado en el 2014 sobró, de tal manera, que fue utilizado en los primeros meses del año 2015, por lo que en estos meses no se tuvo que comprar una cantidad considerable de estos recursos.

Las emisiones teóricas de CO₂, debido a la degradación anaeróbica de los residuos sólidos urbanos (RSU) también fueron calculadas en este estudio. La recolección total de desechos fue de 139.66 toneladas en el año calendario 2015 (Tabla 5). A partir de este valor se calculó las emisiones totales de acuerdo a la metodología descrita en la sección de Materiales y Métodos y fueron 28.59 t CO₂, proveniente de las emisiones directas de CO₂. Esta es una de las contribuciones más bajas en comparación a los demás rubros con un valor del 0.5%. Las emisiones de CH₄ también fueron consideradas, utilizando el potencial de calentamiento global, que es mayor que el del CO₂ [13]. La emisión total de CO₂ eq fue 235.04 t CO₂ eq, proveniente de las emisiones directas de CH₄. Este rubro aporta con un 3.8% al total de todos los rubros analizados. Es importante recalcar que existe una ligera variación sujeto a un margen de error con respecto a los valores de metano emitidos a la atmósfera. Este margen de error se debe a que en el relleno sanitario del Inga, a donde van los RSU de la USFQ, se realiza una extracción pasiva de metano y quema en mecheros, por lo que se pierde una cantidad de metano que iría teóricamente hacia la atmósfera, y este valor es desconocido [6].

Tabla 5: Cantidad de RSU producidas en el 2015 (toneladas)

| Periodo Calendario 2015 | Cantidad (t) |
|--------------------------------|---------------------|
| Enero-Mayo | 59.89 |
| Junio-Julio | 12.83 |
| Agosto-Diciembre | 66.94 |
| Total | 139.66 |

La caracterización realizada por Peñafiel y colaboradores muestra que el 47% de los RSU provienen de residuos orgánicos, el 18% de residuos de papel, el 15% de residuos de jardín, 10% de plástico mezclado, 4% vidrio, 3% otros, y 1% cartón, madera y metal y latas [4]. Es importante recalcar que en las emisiones asociadas a la generación de RSU, siguiendo la metodología de Tchobanoglous, los desechos provenientes de plástico mezclado, metal y latas, vidrio, y otros no contribuyen en el cómputo, debido a que no hay disponibilidad acerca de la información de biodegradabilidad y volatilidad de estos residuos, esto resta un 18% del total de la generación de RSU [7].

Según el Primer Reporte de Sostenibilidad realizado en el 2012, se generaron 181.56 toneladas de RSU [3]. Considerando los resultados obtenidos, para el año 2015, esta generación fue menor por un factor de 1.3. Este resultado se atribuye al hecho de que en la última caracterización de RSU, la cantidad de basura reciclada por los estudiantes y docentes directamente del sitio fue mayor a la del 2012. Es decir, en el transcurso de tres años, la universidad ha logrado crear conciencia con respecto a la generación de RSU. Otro hecho que se pudo haber dado es que en el transcurso de este tiempo, la USFQ implementó clases en el Paseo San Francisco, por lo que, le generación de desechos total de los estudiantes se divide en ambos sectores, y en este estudio, no se toma en cuenta las emisiones que aportan los rubros dados por las actividades en el Paseo San Francisco. También, es

imprescindible acotar que esta caracterización viene dada por un día normal en la universidad; y además, el cálculo está sujeto a varias correcciones, por lo que el cálculo es sensible a variaciones. En comparación con la emisión a la atmósfera de CO₂ en el año 2012, se puede establecer que en la actualidad se genera una emisión menor por un factor de 1.3. Con respecto a la generación de metano, hubo un aumento por un factor de 16.65, sin embargo, este dato no es comparable, porque en el cálculo de la huella del 2012, se cometió un error al reportar la emisión de metano sin la equivalencia respectiva en CO₂ eq, por lo que no es correcto comparar estos rubros.

Las emisiones de CO₂ generadas por el transporte de la comunidad universitaria contribuyen significativamente a la huella de carbono de la USFQ. Una encuesta electrónica descrita en la sección de Materiales y Métodos fue llevada a cabo para generar información sobre el transporte de la comunidad. El modo de transporte terrestre de la población estudiantil para el año 2015 estuvo distribuido de la siguiente manera: 49.88% se movilizaron en automóvil o motocicleta, de los cuales el 75% viajaron solos y 25% compartieron su auto con otros estudiantes. El 40.96% de los estudiantes se movilizaron en transporte público (bus) y el 9.16% restante, se dividió en estudiantes que caminaron (8.83%) o utilizaron bicicleta (0.32%) para trasladarse hacia y desde la universidad (Figura 5). En términos de la frecuencia de viajes, se realizó una distribución correspondiente al número de viajes en la semana que hacen los estudiantes a la universidad, en donde se encontró que el 18.27% de estudiantes realizan más de diez viajes semanales, el 63.97% realizan exactamente 10 viajes semanales, y el 17.76% realizan menos de diez viajes a la semana (Figura 6).

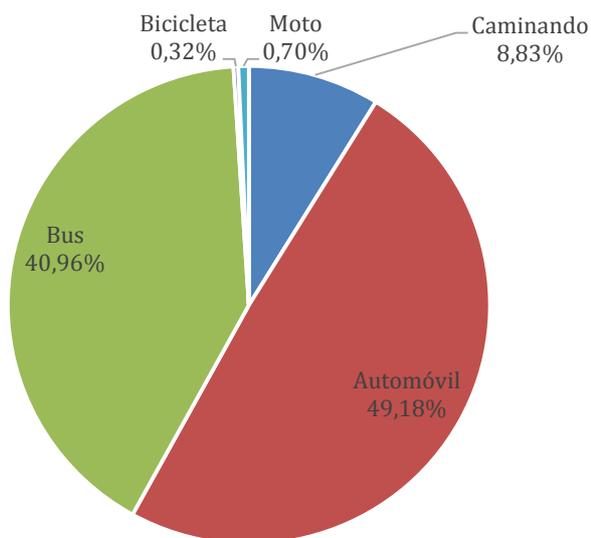


Figura 5: Distribución medio de transporte estudiantil correspondiente al año 2015

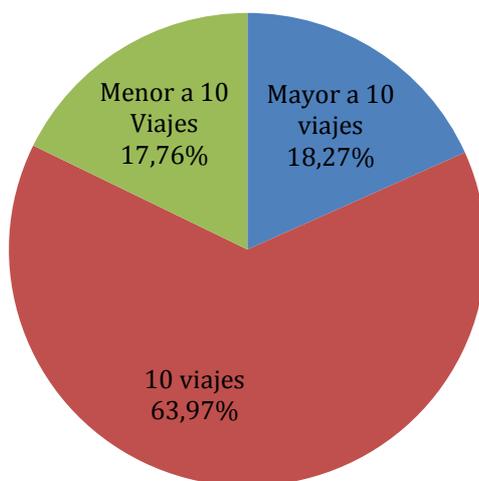


Figura 6: Distribución estudiantil número de viajes semanal correspondiente al año 2015

Con respecto a la población docente y personal administrativo, se encontró que el 77.5% utilizan automóvil y motocicleta a diario para transportarse desde y hacia la universidad. De esta población el 39% comparten su automóvil o motocicleta y el 61% viajan solos. Cabe

recalar, que solamente el 14.17% se traslada mediante transporte público. El 8.33% restante, se divide en profesores y personal administrativo que caminaron (7.50%) o utilizaron bicicleta (0.83%) para trasladarse hacia y desde la universidad (Figura 7).

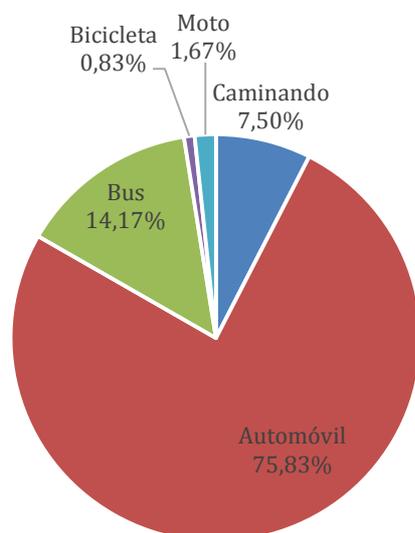


Figura 7: Distribución media de transporte profesores y personal administrativo correspondiente al año 2015

Para el cálculo de la emisión de CO₂, se consideró los dos semestres y el verano, previamente establecidos en la sección de Materiales y Métodos. En base a estas cifras, se obtuvo que el transporte terrestre hacia y desde la universidad contribuyó con un total de 3695.02 t CO₂ para los estudiantes, y 537.80 t CO₂ para los profesores y personal administrativo en el año calendario 2015. Esta contribución es sustancialmente mayor a otros rubros calculados y puede atribuirse a diferentes razones. Primero, las emisiones por transporte en automóvil, representan las emisiones más influyentes debido al alto consumo de combustible anual. Segundo, como se estableció anteriormente, el mayor porcentaje de la población se moviliza en automóvil tanto para la población estudiantil como docente y administrativa. Otro factor a ser considerado es el hecho que la USFQ es una institución de

educación superior que no cuenta con dormitorios residenciales para estudiantes ni docentes. En otros países, como en Estados Unidos, en donde las instituciones de educación superior si cuentan con dormitorios residenciales, la contribución de emisiones por rubro de transporte son substancialmente menores [28].

Es importante recalcar que las contribuciones por estudiantes y docentes debido al transporte público son menores, por el hecho de que se consideró que en un bus viajan 40 personas, y se consideró solamente la emisión correspondiente a una unidad de persona que viaja en transporte público. El transporte terrestre en su totalidad, contribuyen con el 68% de todos los rubros analizados, siendo esta la mayor fuente de emisión de CO₂ en la comunidad USFQ.

El transporte aéreo también contribuyó al rubro de emisión por transporte, dentro de este rubro se encontró que de un total de 553 estudiantes de intercambio (338 que llegaron a la USFQ y 215 que se salieron del país), la emisión fue 390.13 t CO₂, la metodología utilizada se describe en la sección de Materiales y Métodos.

Los docentes también realizaron viajes dentro y fuera del país por motivos académicos, y estas emisiones también fueron consideradas. Las emisiones correspondientes a los viajes internacionales realizados por docentes contribuyeron con un total de 75.15 t CO₂. Los viajes nacionales por su lado contribuyeron con un total de 2.75 t CO₂. Finalmente, los viajes realizados a las extensiones de investigación de la USFQ en Galápagos y Tiputini, contribuyeron con una emisión de 69.21 t CO₂.

Es importante recalcar que de un 100% de emisiones por el rubro de transporte, el 88.7% corresponde al transporte terrestre, y el 11.3% corresponde al transporte aéreo. En la Tabla 6 se resume las toneladas de CO₂ generados por el transporte nacional e internacional de la comunidad universitaria USFQ.

Tabla 6: Toneladas de CO₂ generadas por rubro de transporte de la comunidad USFQ correspondientes al año 2015

| Componente | Toneladas CO ₂ Generadas | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Estudiantes | Profesores/Personal |
| Carro | 3460.62 | 530.82 |
| Bus | 234.40 | 6.98 |
| Avión | 452.27 | 84.97 |
| Subtotal | 4147.29 | 622.77 |
| Total | 4770.06 | |

Los valores obtenidos son coherentes, considerando que en el Primer Reporte de Sostenibilidad correspondiente al año 2012, se obtuvo que la emisión de transporte por tierra contribuyó aproximadamente con un 60% del total de los rubros analizados [3]. La emisión asociada al transporte de estudiantes en el año 2015 es 1.4 veces mayor a la emisión obtenida en el 2012 [3]. La emisión asociada al transporte de docentes y personal administrativo es mayor por un factor de 1.7 veces [3]. Ambos resultados son coherentes, debido al incremento de la población tanto estudiantil como docente y administrativa en el transcurso de estos años. Con respecto a los viajes realizados por negocios, solo se tomó en cuenta la encuesta electrónica realizada, con el fin de no duplicar la información obtenida al preguntar los viajes hechos por los docentes en su respectiva área de especialización. Sin embargo, la diferencia está dada porque en este estudio se consideró los viajes aéreos con

finés académicos y no los viajes terrestres, que son aquellos que seguramente aportaron más a la emisión en el 2012. Esta información no pudo ser obtenida para este estudio. Finalmente es importante recalcar que en este documento, se incluyó las emisiones correspondientes a los viajes (ida y vuelta) por parte de los estudiantes de intercambio pertenecientes a la USFQ, lo que no se realizó en el cálculo correspondiente al año 2012.

En la Tabla 7 se presenta las emisiones totales de CO₂ de la USFQ correspondientes al año 2015 divididas por el alcance 1 como emisiones directas, y por los alcances 2 y 3, como emisiones indirectas calculadas de acuerdo a los criterios de la huella de carbono establecidos por el Registro Climático General de Informes de Protocolo [3,26].

Tabla 7: Emisiones de CO₂ por Alcances 1, 2 y 3, siendo el alcance 1 de fuentes directas, y los alcances 2 y 3 de fuentes indirectas, de la comunidad USFQ correspondientes al año 2015

| Alcance | t CO₂ | Porcentaje |
|---|-------------------------|-------------------|
| Total del Alcance 1 | 328.24 | 5.3 |
| Diésel | 24.54 | 0.4 |
| GLP | 43.89 | 0.7 |
| Combustible (Gasolina) | 24.77 | 0.4 |
| CH ₄ emitido de desechos | 235.04* | 3.8 |
| Total del Alcance 2 | 1063.29 | 17.1 |
| Electricidad comprada | 1063.29 | 17.1 |
| Total del Alcance 3 | 4833.88 | 77.6 |
| CO ₂ emitido de desechos | 28,59 | 0.5 |
| Transporte terrestre de estudiantes (auto + bus) | 3695.02 | 59.4 |
| Transporte facultad y personal de servicio (auto + bus) | 537.80 | 8.6 |
| Viajes estudiantes de intercambio USFQ | 246.57 | 4.0 |
| Viajes estudiantes de intercambio del extranjero | 143.56 | 2.3 |
| Viajes de negocio a Tiputini/ Galápagos | 69.21 | 1.1 |
| Viajes de negocio resto del Ecuador | 2.75 | 0.04 |
| Viajes de negocio al extranjero | 75.15 | 1.2 |
| Tratamiento de agua residual | 35.23 | 0.6 |
| Total | 6225.41 | 100 |

* t CO₂-eq correspondiente a las emisiones provenientes de metano

Una vez obtenida la emisión total de CO₂ correspondiente al año 2015, se realizó un cálculo para obtener las emisiones de CO₂ por unidad de estudiante y facultad (docente y personal administrativo). Para este cómputo, se analizó primero la emisión de estudiantes y facultad por separado de los rubros compartidos. Entre estos rubros compartidos, se encuentran el consumo energético, de combustibles, el tratamiento de AR y el tratamiento de RSU. La Tabla 8 presenta las emisiones de estudiantes y de miembros docentes y administrativos respectivamente.

Tabla 8: Emisiones de CO₂ por estudiante y facultad correspondientes al año 2015 (8025 estudiantes y 913 profesores y personal administrativo)

| Estudiantes | Emisión (t CO₂) Estudiantes | Emisión (t CO₂) Facultad |
|--|---|--|
| Transporte Terrestre | 3695.02 | 537.80 |
| Transporte Aéreo Estudiantes (Programa Intercambio), Facultad (Internacionales motivos académicos) | 390.13 | 75.15 |
| Transporte Aéreo (Galápagos y Tiputini) | 62.14 | 7.07 |
| Transporte aéreo (nacionales por motivos académicos) | - | 2.75 |
| Consumo energético | 954.68 | 108.61 |
| Generación de aguas residuales | 31.63 | 3.60 |
| Consumo de combustible | 22.24 | 2.53 |
| Consumo de diésel | 22.03 | 2.51 |
| Consumo de GLP | 39.41 | 4.48 |
| Generación de CH ₄ de RSU | 211.03* | 24.01* |
| Generación de CO ₂ de residuos sólidos urbanos | 25.67 | 2.92 |
| Total | 5453.98 | 771.43 |

* t CO₂-eq correspondiente a las emisiones provenientes de metano

Estos resultados indican que cada estudiante es responsable de una emisión de 0.68 t CO₂, mientras que cada personal docente y administrativo es responsable de una emisión de 0.84 t CO₂. En el Primer Reporte de Sustentabilidad se reportó que cada estudiante fue

responsable de una emisión de 0.8 t CO₂ al año [3]. Este valor ha disminuido por un factor de 1.14, y esto viene asociado a que el crecimiento en la cantidad de estudiantes en la USFQ es mayor al incremento en la emisión total por parte de los mismos.

También se puede concluir que la mayor cantidad de emisiones de CO₂ están asociadas al rubro de transporte terrestre de los estudiantes. Este aporte representa el 59.4% del total de las emisiones de CO₂. Debido a que el rubro de transporte de estudiantes representa la emisión de mayor magnitud, la solución más significativa para reducir las emisiones de CO₂ sería la implementación y/o optimización del programa de auto compartido o la incentivación de utilizar el transporte público. En la encuesta electrónica realizada, se pudo conocer que en la actualidad, menos del 50% de estudiantes comparten su auto con otros estudiantes en sus viajes semanales a la universidad. Según Fisher y McAdams, en su estudio “College of Charleston 2011 Campus Transportation Study” las tres razones primordiales por las cuales los estudiantes usualmente prefieren viajar solos son a) falta de compañeros que estén dispuestos a compartir su auto, b) Conflicto de horarios y c) Diversas necesidades extracurriculares antes y después de clases [29]. De acuerdo a este estudio, el principal incentivo que prefieren los estudiantes para ser parte del programa de auto compartido es el aporte económico para los servicios de estacionamiento [29], sin embargo, la USFQ en la actualidad ya cuenta con un servicio gratuito en las instalaciones del Paseo San Francisco. La USFQ, entonces, podría aplicar un servicio en el cual estudiantes, facultad y administrativos que compartan su auto tengan estacionamiento asegurado, en zonas convenientes para evitar perder tiempo en búsqueda de un puesto, como lo propone el mismo estudio [29] (Ej. Puesto reservado en el subsuelo 3 del Paseo San Francisco). Es

imprescindible realizar un estudio detallado, utilizando una encuesta electrónica, en donde los estudiantes respondan los tipos de incentivos que les llamaría la atención si decidieran compartir su auto con otros estudiantes. Los miembros de facultad docentes y administrativa también deberían participar en este proyecto. Es fundamental promocionar esta iniciativa con mayor fuerza en el 2016 con la finalidad de reducir nuestra huella de carbono, y dar un paso al futuro hacia nuestro objetivo que es convertirnos en un campus inteligente.

Tabla 9: Comparación de huella de carbono línea base 2012 y actualización año 2015

| Año/Rubro | Emisiones (t CO ₂) | |
|---|--------------------------------|---------|
| | 2012 | 2015 |
| Diésel | 106.11 | 24.54 |
| GLP | 102.51 | 43.89 |
| Gasolina | 26.5 | 24.77 |
| CH₄ emitido de desechos | 14.16* | 235.04 |
| CO₂ emitido de desechos | 36.17 | 28.59 |
| Consumo de agua | 16.4 | 35.23 |
| Electricidad Comprada | 886.51 | 1063.29 |
| Transporte de estudiantes | 2651.4 | 3695.02 |
| Transporte de profesores | 325.2 | 537.80 |
| Viajes negocios Tiputini y Galápagos | 338.94 | 69.21 |
| Viajes por negocios | 246.83 | 77.9 |

* Reportado como t CH₄ en el Primer Reporte de Sostenibilidad

El cálculo de la huella de carbono es un aporte fundamental al informe de sostenibilidad de la USFQ porque nos permite conocer nuestras emisiones de CO₂ hacia la atmósfera, y por consecuencia, la contribución al cambio climático. Sin embargo, también es útil para conocer la situación actual de la USFQ con respecto a sus emisiones de CO₂, y en base a esto, analizar diferentes opciones con el objetivo de convertirnos en un campus inteligente. La USFQ es la primera universidad en Sudamérica en reportar STARS y ser parte

de la comunidad AASHE. De acuerdo a nuestro conocimiento, no existen datos publicados en la literatura sobre huellas de carbono de otras universidades en la región por lo que los datos obtenidos los hemos comparados con la Universidad de la Costa del Golfo de Florida (Florida Gulf Coast University FGCU), localizada en Fort Myers, que también pertenece a la comunidad AASHE y que cuenta con una población estudiantil similar a la de la USFQ [18]. De acuerdo al último reporte del 12 de noviembre del 2015, FGCU consta con un número de 8,045 estudiantes y 484 profesores a tiempo completo [18]. Con respecto al rubro energético, esta institución emite un total de 17,575.9 t CO₂ por consumo de energía, este valor es 16.5 veces mayor a la emisión de la USFQ [18]. Si bien es cierto que el número de estudiantes es ligeramente mayor al de la USFQ, esta diferencia drástica se debe al área del campus. FGCU cuenta con una superficie del campus operacional de 258.58 km², mientras que la superficie de la USFQ es de 49.21 km², es decir la FGCU tiene un área del campus operacional 5.25 veces más grande que el de la USFQ (sin contar el Paseo San Francisco) [18]. El transporte de los estudiantes es un rubro importante para ambas universidades dentro de la generación total de emisiones de CO₂. FGCU tiene una emisión asociada a este rubro de 10,967.0 t CO₂ [18], mientras que el de la USFQ fue de 3,695.02, es decir 2.97 veces menor. Las emisiones de CO₂ generadas por el transporte aéreo del personal de FGCU fueron 1,327 t CO₂, mientras que en la USFQ, fueron 537.24 t CO₂, es decir 2.5 veces menor. Cabe indicar que no hay información presentada para FGCU para las emisiones de CO₂, generadas por consumo de combustibles, degradación de RSU y tratamiento de AR. Los dos últimos rubros no son considerados dentro del inventario de emisiones de CO₂ de las universidades americanas ya que las ciudades en Los Estados Unidos se encargan del tratamiento de este tipo de residuos y efluentes domésticos. Desafortunadamente, en el

Ecuador todavía no existe infraestructura municipal adecuada para tratar estos contaminantes, por lo tanto fueron incluidos en los cálculos de las USFQ.

En la Tabla 10 se presenta una comparación de las emisiones de CO₂ por alcance de emisiones totales y emisiones por estudiante para FGCU y USFQ, respectivamente. En todos los rubros comparados, las emisiones de CO₂ por las operaciones de la FGCU fueron muchos más altas que las de la USFQ, esto se debe a diferentes razones tales como: el área del campus de la FGCU, la cantidad de equipos que utilizan energía electrónica, la distancia entre la universidad y los domicilios de los estudiantes y personal docentes, y el número de viajes, y la distancia de recorrido de los mismos que se realizan al año [18]. Además, el uso de aire acondicionado incrementa el consumo energético considerablemente.

Tabla 10: Comparación emisiones entre FGCU y USFQ por alcance

| | Emisión Total (t CO ₂) | | Emisión/estudiante (t CO ₂) | |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------|---|------|
| | FGCU | USFQ | FGCU | USFQ |
| Emisiones alcances 1 + 2 | 18,027.0 | 1,391.53 | 2.2 | 0.2 |
| Emisiones alcances 1 + 2 + 3 | 30,388.0 | 6,225.41 | 3.8 | 0.7 |

CONCLUSIONES

El transporte por medio terrestre es el rubro que más contribuye a las emisiones de CO₂ asociadas la USFQ. Por este motivo, es imprescindible trabajar en esta área, motivando el programa del auto compartido con miras al 2016 y el uso de bicicletas y transporte público. Esto no quiere decir que las otras áreas deben pasar desapercibidas; al contrario, diferentes programas deberían ser implementados y/o optimizados enfocados en eficiencia energética, consumo responsable de agua, planes de manejo de residuos y reciclaje. Finalmente, es evidente que uno de los factores principales que contribuyeron al aumento de las emisiones de CO₂ desde el año 2012 al año 2015, fue la diferencia abrupta entre la cantidad de estudiantes, docentes, y administrativos durante este tiempo. En el año 2012 la USFQ contaba con 5500 estudiantes, y con 450 profesores y personal [3]. Hoy en día, la USFQ campus Cumbayá cuenta con 8025 estudiantes, y con 913 profesores y personal. Este incremento por un factor de 1.46 en el caso de estudiantes, y 2.03 en el caso de docentes y personal administrativo, en gran magnitud, atribuye a que la mayoría de los rubros analizados, hayan incrementado durante este periodo. Sin embargo, como se estableció previamente, la huella total por número de estudiante disminuyó con respecto a la última huella calculada.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Valeria Ochoa-Herrera, mi guía durante esta investigación y durante la toda carrera de ingeniería ambiental, un ejemplo personal y académico a seguir. A todo el equipo de la Oficina de Sustentabilidad, por dejarme realizar este proyecto de investigación. Y agradezco a todos mis profesores, por sus valiosas enseñanzas. Agradezco finalmente a mi familia, por su apoyo incondicional durante toda la carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARCONEL. 2015. "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Año 2014". *Quito-Ecuador*.
- [2] Metcalf, & Eddy. 2003. "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse". Fourth Edition. *United States-New York*
- [3] USFQ. 2014. "Informe de Sostenibilidad de la Universidad San Francisco de Quito correspondiente al año 2012". *Quito-Ecuador*
- [4] USFQ. 2015. "Resumen: Planes de Manejo Ambiental de los Residuos USFQ". Departamento de Ingeniería ambiental. *Quito-Ecuador*
- [5] Parra, R. 2013. "Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-20011". *Avances*, 5(1):C39-C42
- [6] Peñafiel, R. 2014. "Descripción metodología de RSU" *Quito-Ecuador*
- [7] Tchobanoglous, G ; Theisen, H ; Vigil, S. 1998. "Integrated Solid Waste Management". McGraw-Hill, ISBN: 978-0-07-063237-0
- [8] Rivadeneira, L ; Juncosa, J ; Naciph, K ; Cazorla, M. 2014. "Cálculo de las emisiones de CO2 perteneciente al rubro de transporte del personal docente y administrativo de la Universidad San Francisco". *Avances*, 6(1):C1-C3.
- [9] U.S Department of Energy. 2013. "Energy Efficiency and Renewable Energy". <http://www.fueleconomy.gov/feg/make.shtml>. Fecha de consulta: 20 Noviembre 2015.
- [10] IPCC. 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme". Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- [11] ICAO. 2014. "Carbon Emissions Calculator Methodology". Séptima Versión. http://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v7-2014.pdf. Fecha de consulta: 3 Noviembre 2014.
- [12] Benitez, M ; Ochoa, V. 2015. "Wastewater Treatment for Nutrient Recovery with Ecuadorian Native Microalgae". *Quito-Ecuador*
- [13] IPCC. 2015. "Climate Change 2014 Synthesis Report". AR5. 87 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. Fecha de consulta: 18 Noviembre 2014.

- [14] EPA. 2014. "Greenhouse Gases" Washington DC-USA.
<http://www.epa.gov/climatechange/pdfs/CI-greenhouse-gases-2014.pdf>. Fecha de consulta: 20 Agosto 2014.
- [15] El Comercio.2015. "En el mundo hay activos 6191 aparatos A320, el avión emblema de Airbus". <http://www.elcomercio.com/actualidad/mundo-airbus-aviones-accidente-francia.html>. Fecha de consulta: 19 Septiembre 2014.
- [16] Aircraft Commerce. 2005. "Aircraft Owners & Operators Guide: 747-200/-300".
http://www.aircraft-commerce.com/sample_articles/sample_articles/fleet_planning_2_sample.pdf. Fecha de consulta: 19 Septiembre 2015.
- [17] ICAO. 2012. "Carbon Emissions Calculation. Version 5, June 2012".
http://www.icao.int/environmentalprotection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v5-2012.Revised.pdf. Fecha de consulta: 20 Noviembre 2014.
- [18] ACUPCC Second Nature. 2015. "GHG Report for Florida Gulf Coast University".
<http://rs.acupcc.org/ghg/2724/>. Fecha de consulta: 22 Noviembre 2014.
- [19] Kamal, A. 2012. "Benchmarking tolos for assesing and tracking Sustainability in Higher Education". Emerald.
- [20] AAAS. 2014. "Scientific Consensus: Earth Climate is Warming".
<http://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>. Fecha de consulta: 01 Septiembre 2014.
- [21] Watson, R; Rodhe, H; Oeschger, H; Siegenthaler, U. 1990. "Greenhouse Gasses and Aerosols". IPCC. <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wq1/ipccfarwq1chapter01.pdf>.
Fecha de consulta: 01 Septiembre 2014.
- [22] EPA.2014. "Overview of Greenhouse Gasses". Washington DC-USA
- [23] NASA. 2014. "Climate Change, How do we know?" Houston-USA.
<http://climate.nasa.gov/evidence/>. Fecha de consulta: 01 Septiembre 2014.
- [24] EPA. 2014. "Climate Change Indicators in the United States" Washington DC-USA.
<http://www.epa.gov/climate/climatechange/science/indicators/ghg/index.html>. Fecha de consulta: 02 Septiembre 2014
- [25] Matthews, S; Hendrickson, C; Weber, C. 2008. "The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries". *Environmental Science & Technology*. V 42. 5839-5842. Pittsburgh-USA.

- [26] The Climate Register.2013. "General Reporting Protocol". *California-USA*.
http://www.theclimateregistry.org/wp-content/uploads/2014/11/TCR_GRP_Version_2.0-1.pdf. Fecha de consulta: 02 Septiembre 2014
- [27] Naciph, K ; Rivadeneira, L; 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.
- [28] Roy, R; Potter, S and Yarrow, K. 2008. "Designing low carbon higher education systems: Environmental impacts of campus and distance learning systems." *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(2), pp. 116–130.
- [29] Fisher, B; McAdams, E. 2011. "College of Charleston 2011 Campus Transportation Study". <http://sustainability.cofc.edu/documents/commuter-report-final.pdf>. Fecha de consulta: 13 de Diciembre del 2015.

ANEXO

Calculo Factor de Emisión Ecuador Continental

Tabla 11: Consumo de combustible en Ecuador 2014

| Combustible | Unidades | Cantidad | Poder calorífico | FE CO2 | Densidad |
|----------------|--------------------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Fuel Oil | Millones de galones | 368.8 | 40.4 TJ.Gg ⁻¹ | 77400 kg .TJ ⁻¹ | 944 kg.m ⁻³ |
| Diésel 2 | Millones de galones | 185.6 | 43 TJ.Gg ⁻¹ | 74100 kg .TJ ⁻¹ | 845 kg.m ⁻³ |
| Nafta | Millones de galones | 0 | 44.5 TJ.Gg ⁻¹ | 73300 kg .TJ ⁻¹ | 739 kg.m ⁻³ |
| Gas Natural | Millones de miles de ft ³ | 26.7 | 48 TJ.Gg ⁻¹ | 56100 kg .TJ ⁻¹ | 0.042 l.ft ⁻³ |
| Residuo | Millones de galones | 36.2 | 40.4 TJ.Gg ⁻¹ | 77400 kg .TJ ⁻¹ | 944 kg.m ⁻³ |
| Crudo | Millones de galones | 77.1 | 42.3 TJ.Gg ⁻¹ | 73300 kg .TJ ⁻¹ | 874 kg.m ⁻³ |
| GLP | Millones de galones | 6.3 | 47.3 TJ.Gg ⁻¹ | 63100 kg .TJ ⁻¹ | 527.6 kg.m ⁻³ |
| Bagazo de caña | Millones de toneladas | 1.33 | 2220 kgal.kg ⁻¹ | 780 kg.Mg ⁻¹ | --- |

Cálculo Empírico

fuel oil

$$= 368.8 * 10^6 gal * \frac{3.785L}{1gal} * \frac{1m^3}{1000L} * 944 \frac{kg}{m^3} * \frac{1Gg}{10^6kg} * 40.4 \frac{TJ}{Gg} * 77400 \frac{kgCO2}{TJ} * \frac{1tCO2}{1000kgCO2} = 41205113 t CO_2$$

diesel 2

$$= 185.6 * 10^6 gal * \frac{3.785L}{1gal} * \frac{1m^3}{1000L} * 845 \frac{kg}{m^3} * \frac{1Gg}{10^6kg} * 43 \frac{TJ}{Gg} * 741000 \frac{kgCO2}{TJ} * \frac{1tCO2}{1000kgCO2} = 1891417 t CO_2$$

Gas Natural

$$= 26.7 * 10^9 ft^3 * \frac{0.042lb}{ft^3} * \frac{1kg}{2.2lb} * \frac{1Gg}{10^6kg} * \frac{48TJ}{Gg} * \frac{56100KgCO_2}{TJ} * \frac{1tCO_2}{1000kgCO_2}$$

$$= 1372593.6 t CO_2$$

Residuo

$$= 36.2 * 10^6 gal * \frac{3.785L}{1gal} * \frac{1m^3}{1000L} * 944 \frac{kg}{m^3} * \frac{1Gg}{10^6kg} * 40.4 \frac{TJ}{Gg} * 77400 \frac{kgCO_2}{TJ}$$

$$* \frac{1tCO_2}{1000kgCO_2} = 404454 t CO_2$$

crudo

$$= 77.1 * 10^6 gal * \frac{3.785L}{1gal} * \frac{1m^3}{1000L} * 874 \frac{kg}{m^3} * \frac{1Gg}{10^6kg} * 42.3 \frac{TJ}{Gg} * 73300 \frac{kgCO_2}{TJ}$$

$$* \frac{1tCO_2}{1000kgCO_2} = 790817.1 t CO_2$$

GLP

$$= 6.3 * 10^6 gal * \frac{3.785L}{1gal} * \frac{1m^3}{1000L} * 528.65 \frac{kg}{m^3} * \frac{1Gg}{10^6kg} * 47.3 \frac{TJ}{Gg} * 63100 \frac{kgCO_2}{TJ}$$

$$* \frac{1tCO_2}{1000kgCO_2} = 376245 t CO_2$$

$$Bagazo de caña = 1.33 * 10^6 ton caña * \frac{1000kgcaña}{1toncaña} * \frac{1 Mg}{1000 kg} * \frac{780kgcaña}{1Mg}$$

$$= 1037400 t CO_2$$

$$\sum t CO_2 = 8617413 ton CO_2$$

$$FE CO_2 nacional = \frac{8617413 t CO_2}{25143.95 GWh} = 342.3 \frac{kg CO_2}{kWh}$$