



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA,
BIOTECNOLOGÍA Y MATERIALES

ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE
EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA
UNIVERSIDAD DE CHILE, HOMOLOGABLE PARA OTRAS INSTITUCIONES DE
EDUCACIÓN SUPERIOR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

OSVALDO IGNACIO VILLAGRÁN MONTENEGRO

PROFESOR GUÍA:
ÁLVARO MARÍA OLIVERA NAPPA

PROFESOR COGUÍA:
JOSÉ CRISTIAN SALGADO HERRERA

COMISIÓN:
REYNALDO ANDRÉS CABEZAS CIFUENTES

SANTIAGO DE CHILE
2020

IQ6909 TRABAJO DE MEMORIA DE TÍTULO
POR: OSVALDO IGNACIO VILLAGRÁN MONTENEGRO
FECHA: 22 DE SEPTIEMBRE DE 2020
PROF. GUÍA: ÁLVARO MARÍA OLIVERA NAPPA

ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, HOMOLOGABLE PARA OTRAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) representa uno de los principales causantes del cambio climático. Es por esto que se han firmado acuerdos internacionales que buscan alcanzar la neutralidad en las emisiones netas globales de carbono antes del año 2050. Bajo este contexto, el año 2019 la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile se comprometió a alcanzar la neutralidad de carbono antes de ese año.

El primer paso para reducir las emisiones de una institución corresponde a la confección de su inventario de GEI. Por esto, el presente trabajo se realizó con el objetivo de establecer una metodología que permitiese caracterizar las emisiones de la FCFM para el año 2019 y cuya implementación pudiese ser replicada en otras instituciones de educación superior.

Luego de estudiar las metodologías que existen para la cuantificación de emisiones, se desarrolló el inventario de la FCFM con base en el *GHG Protocol* y los factores de emisión (FE) provistos por *Huella Chile*. Tomando en cuenta los 3 alcances de propagación, se obtuvo una emisión total de 10.112 t CO_{2eq}. Las fuentes emisoras que más aportaron a la huella de carbono son el consumo de energía eléctrica (46 %), transporte de la comunidad universitaria (27 %), viajes de funcionarios/os y académicos/os (21 %) y fuga de refrigerantes (4 %). Además de lo anterior, destaca la caracterización del transporte de la población mediante la aplicación de una encuesta Origen-Destino y el avance con respecto al cálculo de las distancias relacionadas a viajes y traslado de la comunidad bajo la creación e implementación de tres funciones basadas en la herramienta *Google Maps*.

Tras la experiencia del cálculo y buscando corregir los principales errores evidenciados, se elaboró una nueva propuesta, esta vez, aplicable en cualquier institución de educación superior. Esta metodología ofrece dos niveles de profundización, cada uno dependiente de la rigurosidad que se requiera en los cálculos y de la información con la que disponga. Para estandarizar el orden y manejo de datos se construyó una planilla *Excel* de libre acceso. Además, se elaboró una serie de vídeos tutoriales para explicar la metodología y las herramientas que la componen.

Finalmente, se propuso una serie de medidas que podrían ayudar a orientar a la FCFM hacia la carbono-neutralidad. Entre ellas destaca el monitoreo del consumo eléctrico e hídrico de las dependencias que forman parte del límite organizacional y la determinación de acciones concretas para disminuir las barreras asociadas al transporte de la comunidad, identificadas en este trabajo. En conjunto con lo mencionado, se concluye sobre la necesidad de que la FCFM continúe con el estudio y replantee sus objetivos de mitigación, posicionándose de esa forma como un referente para otras instituciones de educación superior.

Agradecimientos

Esta sección debe ser una de las más difíciles de escribir, ya lo he comentado con algunas personas, llevo meses craneándome que decir. Desde ya agradezco a todas y todos quienes han pasado por mi vida, intentaré que se sientan aludidas y aludidos con estas palabras.

Primero quiero agradecer a mi comisión de título, el profesor Álvaro Olivera, José Cristian Salgado y Reynaldo Cabezas. Gracias por la disposición a ser parte de la comisión incluso sin conocerme. Gracias especiales a Reynaldo por haberme acompañado en todo el proceso, resolviendo mis dudas con paciencia y jugando el rol de intermediario a lo largo de todo el camino. También al profesor Álvaro, además de haberme ayudado en el trabajo en sí, agradezco su preocupación por mi salud mental, el haberme dado contención cuando lo necesité y por transmitirme calma.

Siguiendo en la línea de los profesores, agradezco a todas y todos los docentes que he conocido, tanto en el colegio como en la universidad, quizás muchos no me caían muy bien, a otros tal vez no les compraba mucho, pero definitivamente influyeron en mi vida, algo me habrá quedado de cada uno. Quiero agradecer a mis profesores de basquetbol Gonzalo Von Der Marwitz, Rodrigo Ibañez, Felipe Fritzchmann, Kamal Charid y Matías Cortes. Siempre me ha costado crearme el cuento pero ustedes depositaron en mí la idea de que si puedo hacer cosas importantes, de que nunca tengo que agachar la cabeza y que siempre hay que ponerle corazón a todo. No siempre respondí a esa confianza, aún me cuesta hacerlo, pero definitivamente es menos difícil gracias a ese empujón que me dieron.

Gracias a la mejor profesora que tiene Beauchef, Andrea Rodríguez. Gracias por esa invitación a pensar de manera divergente, a buscar una forma distinta de hacer las cosas y a reinventarse todos los días. Gracias por su alegría y preocupación hacia las y los estudiantes, no conozco a nadie para quien una clase con usted haya pasado desapercibida. Agradezco también a todas las profesoras y los profesores que me permitieron ser parte de sus equipos docentes. Gracias a esa instancia he aprendido mucho y he logrado explotar un área que me apasiona. De cada una y uno he aprendido algo que espero llevar conmigo en el futuro.

No creo mucho en que exista una relación directa entre hace cuanto tiempo conocemos a alguien y la importancia que puede tener esa persona en nuestra vida. Tengo amigos que conozco desde hace muchos años y otros que conozco hace pocos meses, con algunas personas he compartido muchos momentos y con otras situaciones puntuales. Independiente de cual sea el caso, he tenido la suerte de conocer a gente hermosa a lo largo de mi vida y los voy a llevar en alguna parte de mi corazón para siempre. Gracias por aguantarme cuando estaba desanimado, mañoso o con poca paciencia. Agradezco las conversaciones, las risas,

los abrazos, todo, espero haber sido merecedor de esos momentos con ustedes, gracias por aparecer en mi vida.

Gracias especiales a EDUPACK, la Consu, el Franquito y el Talo. La verdad ya ni me acuerdo de qué forma me los habré engrupido para que se sumasen al proyecto pero agradezco que lo hayan hecho. Fue una experiencia muy bonita, algo distinto y que me llenó mucho el corazón. En tiempos de pandemia he extrañado sus abrazos y nuestras reuniones que terminaban en tirar la talla escuchando música de 31 Minutos. Aún tenemos una reunión pendiente.

Gracias a las bandas, a los RajaDiablos por darme la primera oportunidad y a la CumbianChela por acompañarme este último año. Creo que es momento de confesar que no me gusta ninguno de los dos nombres, no obstante, los momentos que hemos vivido juntos son de mis preferidos. La música ha sido una terapia y me ha puesto en situaciones que jamás me imaginé. Aún tengo la esperanza de que alguien escriba una canción que nos lance a la fama, si no es así, siempre voy a atesorar esta época, si o si de acá saldrán buenas anécdotas para cuando seamos viejos. Destacar a los Litol Chisens, a Gonzalez, Panchito Quezada, Giova, JP, Campusano y el Lula, un grupo de personas muy especiales que ni siquiera sabría describir.

Gracias al presidente Sebastián, al que es bueno eso si, Sebastián “el presi” Correa. Agradezco tu capacidad para integrar a las personas, para hacer que uno se sienta cómodo. Hasta antes de conocerte me costaba mucho encajar en grupos pero tú hiciste tu magia y lograste armar un buen piño de personas con los que vivimos cosas muy bonitas. Espero que podamos seguir siendo amigos por mucho tiempo.

“Las locuras hay que hacerlas de una”, dudo que la persona que me dijo esto haya dimensionado el impacto que tendría esa frase en mi vida. Fue el 15 de marzo del 2018, el contexto no era especial, sólo estábamos hablando en la pecera de la salita pero esas palabras hicieron click en mi cabeza. Admito que a veces he ocupado esa frase como excusa para tomarme una cosita o darme algún lujito, pero la mayor parte del tiempo la ocupo para salir de mi zona de confort y confiar más en mí. Gracias Luciano Reyes, de ti he aprendido mucho, de tu alegría y de tu forma de ver las cosas.

Agradezco también a una persona que tuve la suerte de conocer justo cuando más lo necesitaba, Sara Mallea. No sé que habrá sido pero nos hicimos amigos al poco tiempo de comenzar a trabajar juntos, las risas no faltaron nunca. Creo que las reuniones que teníamos deben ser de las menos productivas que he tenido de todo mi paso por la universidad, sin embargo, son de mis favoritas. Gracias por tu amistad, por tus consejos y por tu preocupación.

Gracias Francisco More, uno de mis pilares en todo este camino. Eres una persona muy especial, con la capacidad de llenar de energía a los demás con tu simpatía y tu cariño. Me siento infinitamente afortunado de tenerte como amigo. Gracias por tus consejos, por escucharme en mis momentos de tristeza y también en mis alegrías, por acompañarme a marchar, por incluirme en tus planes. Eres una persona de luz.

Gracias a mis amigas y amigos del colegio. En especial gracias a mis compañeros de las primeras tomateras y de las conversaciones hasta la madrugada acampando en Laguna

Esmeralda, conversaciones que a veces terminaban en discusiones pero dónde finalmente siempre volvíamos a lo mismo, a ser amigos. Gracias Ignacio Ríos, el “Nahito”, por tu alegría y tu interés por querer que los demás estén bien. Te admiro mucho, más de una vez me he quedado pensando en lo mucho que me gustaría ver las cosas como tú las ves. Por favor ponte casco cada vez que andes en bicicleta, no queremos más sustos.

Gracias al “Loco Dan”, Daniel Godoy. Nos conocemos como desde los 4 años pero no fue hasta séptimo más o menos que nos comenzamos a hacer amigos. Desde ahí has estado presente, aunque a veces pasemos un tiempo largo sin hablar, basta con vernos una vez y la sensación es la misma de siempre. Gracias por esas conversaciones infinitas en dónde sólo necesitábamos un lugar para sentarnos. Eres mi mejor amigo, me has visto en mis mejores y peores momentos y siempre te agradeceré por eso.

También quiero agradecer Gabriela Arellano mi sicóloga. Haberla podido conocer fue una suerte y ha sido un apoyo muy importante estos últimos dos años. En gran parte, estoy mejor el día de hoy gracias a usted. Una vez me comentó que en ocasiones la vida me lanzaba algunos “angelitos” en forma de personas para ayudarme a superar momentos difíciles. Si miro para atrás toda mi historia creo que efectivamente he tenido la suerte de conocer muchos “angelitos” y “angelitas”.

Gracias a mi familia, a mis abuelitas y abuelitos que me acompañan, no sé de dónde, pero lo hacen. A mis tías y tíos (que son muchas/os), en especial a mi tío Germán, ese tío que es como tu segundo papá, ese tío que me alojó cada vez que hice mis practicas profesionales para que no me tuviese que pegar esos “piques” y que me dejaba asaltarle el refrigerador cada vez que tenía hambre, o sea siempre.

Gracias a mis hermanas, Paula y Gabriela. Gracias por aguantar mis mañas y caras largas por todos estos años. Gracias por no enojarse tanto cuando me como las cosas que están cocinando sin preguntar y arruino sus recetas. Gracias por esos momentos en dónde cada una, a su manera, intentaba subirme el ánimo. Ambas son mujeres increíbles, las admiro mucho y las quiero mucho.

Finalmente agradezco a mi mamá y papá, dos personas con un corazón enorme. Mi papá, Osvaldo Villagrán, siempre me ha apañado en todas las cosas que he querido hacer. Agradezco cada vez que me acompañabas a los partidos, esos cuando yo me enojaba porque tratabas de darme consejos para mejorar y te pedía que mejor omitieras comentarios. Gracias por darme la “gloriosa 82”, era un número normal pero tú lograste convencer a un cabro chico de 8 años que llevar eso en la espalda podía representar algunas de las cosas más importantes de esta vida. Gracias por apoyarme en esta nueva tontera mía, la música. Gracias por decirme alguna vez que hay que ser fiel a lo que uno siente, sin tanto tapujo, porque sólo así podía estar tranquilo con que siempre di mi 100 %. Son un montón las cosas que podría mencionar, gracias por el apoyo incondicional. Eres un ejemplo para mí y te quiero mucho.

Gracias a mi mamá, Patricia Montenegro. Debe ser la persona que más me ha visto llorar en esta vida pero independientemente de cuantas veces fuesen, ahí estaba con una taza de té, fruta picada y un abrazo. Eres una de las mujeres más fuertes que conozco, siempre pensando en mis hermanas y yo antes que en ti. Gracias infinitas por todos tus regalones, consejos y abrazos, te quiero un montón. No sabes lo afurtunado que me siento de que seas mi mamá.

En fin, gracias a todas y todos quienes han pasado por mi vida, espero que aún nos queden historias por vivir. Siempre podrán contar conmigo, no todas las veces sabré como ayudar o qué decir, pero siempre le pondré corazón. Los espero en la próxima humatón, no falten.

Oswaldo Villagrán Montenegro

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Contextualización Medioambiental	1
1.1.1. Gases de efecto invernadero	3
1.1.2. Efectos del Cambio Climático	4
1.2. Motivación	6
1.3. Objetivos del trabajo	7
1.3.1. Objetivo General	7
1.3.2. Objetivos Específicos	7
1.4. Antecedentes	8
1.4.1. Conceptos clave	8
1.4.2. Estado del Arte	9
1.4.3. Comentarios generales	14
2. Metodología	16
2.1. Contacto con otras instituciones	16
2.2. Apoyo de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad	16
2.3. Metodología para inventario 2019	17
2.4. Herramienta para recopilar información asociada al transporte de la comunidad	17
2.5. Herramienta para calcular distancias	17
2.6. Calculo de emisiones	17
2.7. Análisis de resultados numéricos	18
2.8. Análisis de metodología propuesta	18
2.9. Vídeos tutoriales	18
2.10. Lineamientos a seguir	18
3. Resultados y Discusiones	19
3.1. Metodología aplicada para la confección del inventario de GEI de la FCFM 2019	19
3.1.1. Definir límites organizacionales y operacionales	19
3.1.2. Recopilar información disponible	20
3.1.3. Contrastar la información requerida con la disponible	21
3.1.4. Adquirir y Procesar información complementaria	22
3.1.5. Calcular emisiones	27
4. Discusiones y Propuestas	29
4.1. Metodología utilizada	29
4.2. Resultados numéricos huella de carbono FCFM 2019	34

4.3.	Nueva propuesta metodológica	41
4.3.1.	Definir límites organizacionales y operacionales	41
4.3.2.	Familiarización con la herramienta de cálculo	41
4.3.3.	Compilar la información disponible	42
4.3.4.	Realizar cálculos	46
4.3.5.	Vídeos tutoriales	46
4.3.6.	Comentarios generales	46
4.4.	Lineamientos a seguir por la FCFM	48
4.5.	Aplicación Móvil	51
5.	Conclusiones	52
	Bibliografía	59
	Anexos	60
A.	Potencial de Calentamiento Mundial para distintos GEI	61
B.	Cálculos realizados	63
B.1.	Memoria de cálculo Alcance 1	63
B.1.1.	Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	63
B.1.2.	Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos	65
B.1.3.	Emisiones asociadas al uso de combustible en vehículos	67
B.2.	Memoria de cálculo Alcance 2	71
B.2.1.	Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	71
B.3.	Memoria de cálculo Alcance 3	74
B.3.1.	Emisiones asociadas a la gestión de residuos	74
B.3.2.	Emisiones asociadas al consumo de agua	78
B.3.3.	Emisiones asociadas a viajes de académicas/os y funcionarias/os.	79
B.3.4.	Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria.	82
C.	Desglose emisiones por GEI	85
D.	Códigos utilizados	86
D.1.	Código utilizado para la estimación de la huella asociada al viaje de académicas/os y funcionarias/os (distancia terrestre)	86
D.2.	Código utilizado para la estimación de la huella asociada al viaje de académicas/os y funcionarias/os (distancia aérea)	87
D.3.	Código utilizado para la estimación de la huella asociada al transporte de la comunidad universitaria hacia la FCFM	88
E.	Encuesta Origen-Destino aplicada	91
E.1.	Principales resultados encuesta Origen-Destino	104
E.1.1.	Caracterización de la muestra encuestada	104
E.1.2.	Hábitos de transporte	104
F.	Procesamiento datos recopilados encuesta	107

G. Encuesta Origen-Destino Huella Chile	116
H. Encuesta barreras de transporte	118
H.1. Preguntas	118
H.2. Principales resultados	126
H.2.1. Caracterización de la muestra	126
H.2.2. Con respecto al uso de la bicicleta	126
H.2.3. Con respecto al uso de transporte público	127
H.2.4. Con respecto a compartir automóvil	129
H.2.5. Con respecto a la aplicación propuesta	130
I. Cálculo de errores marginales (nueva propuesta metodológica)	132
J. Encuesta Origen-Destino nueva metodología propuesta	135
K. Aplicación propuesta	142
L. Índice archivos adjuntos	151

Índice de tablas

1.1.	PCM de GEI incluidos en el Protocolo de Kioto [19].	4
1.2.	Huella de carbono FCFM 2018.	14
3.1.	Límites operacionales fijados para inventario de GEI FCFM 2019.	20
3.2.	Información recopilada para cada ítem de emisión.	21
3.3.	Información necesaria para calcular las emisiones de GEI para la FCFM 2019.	22
3.4.	Resumen emisiones gases controlados por el protocolo de Kioto FCFM 2019.	28
4.1.	Ejemplo distancia entre ubicaciones (<i>Google Maps</i>) al variar la precisión de la información entregada.	31
4.2.	Comparación al utilizar la función creada para determinar distancias de viaje en automóvil al considerar distintos niveles de precisión en dirección de origen.	31
4.3.	Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones.	36
4.4.	Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 1.	43
4.5.	Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 2.	44
4.6.	Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 3.	45
B.1.	Cantidad de refrigerante adquirido por la FCFM durante el año 2019	63
B.2.	Emisión asociada al uso de cada refrigerante. *Controlado bajo el estándar del Protocolo de Montreal.	64
B.3.	Emisión producto de la quema de combustible para generación de electricidad.	66
B.4.	Facturación de combustibles durante cada mes del año 2019 para el uso en vehículos pertenecientes a la FCFM.	67
B.5.	Precio mínimo registrado para cada combustible durante el año 2019 dentro de la RM.	68
B.6.	Litros de combustible consumidos por vehículos pertenecientes a la FCFM durante el año 2019.	69
B.7.	Emisión asociada a la combustión de los distintos tipos de gasolina en vehículos.	70
B.8.	Consumo eléctrico de principales dependencias de FCFM durante 2019.	71
B.9.	Factores de emisión declarados para cada mes del 2019 [52].	72
B.10.	Emisión anual por dependencia considerada en el calculo.	73
B.11.	Caracterización de residuos FCFM 2019.	74
B.12.	Emisiones asociadas al transporte de residuos.	76
B.13.	Emisiones asociadas al transporte de residuos.	77
B.14.	Emisión del consumo de agua por la FCFM 2019.	78
B.15.	Distancia total calculada para viajes de académicas/os y funcionarias/os en distintos medios de transporte.	79

B.16.Límites propuestos para determinar factores de emisión a utilizar.	80
B.17.Emisión asociada a viajes realizados en representación de la FCFM.	81
B.18.Emisión asociada a viajes realizados en representación de la FCFM por motivo de viaje.	81
B.19.Población por estamentos FCFM 2019.	82
B.20.Distance total recorrida estimada para la población total de la FCFM, año 2019.	82
B.21.Emisión asociada al transporte de la comunidad universitaria de la FCFM 2019.	84
C.1. Desglose de aporte de distintos GEI a la huella de carbono de la FCFM 2019.* Corresponde a un gas no controlado en el protocolo de Kioto.	85
F.1. Casos 1, 2, 3 y 4. Meses y días que viajaron hacia la facultad durante el 2019.	108
F.2. Casos 1, 2, 3 y 4. Caracterización del traslado diario personal.	108
F.3. Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia desde punto de origen hacia la facultad.	108
F.4. Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia total recorrida pre 18 de octubre.	109
F.5. Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia total recorrida post 18 de octubre.	110
F.6. Distancia total recorrida por estamento 1/3.	111
F.7. Distancia total recorrida por estamento 2/3.	111
F.8. Distancia total recorrida por estamento 3/3.	112
F.9. Factores de expansión.	112
F.10.Errores asociados al tamaño de la muestra.	113
F.11.Distance total recorrida por estamento expandida 1/3.	114
F.12.Distance total recorrida por estamento expandida 2/3.	114
F.13.Distance total recorrida por estamento expandida 3/3.	115
I.1. Emisiones de GEI para caso de estudio hipotético.	133

Índice de figuras

1.1.	Calentamiento global desde 1880 hasta la actualidad [14].	2
1.2.	Relación entre CC y sus consecuencias. Elaboración propia.	6
1.3.	Evolución de las emisiones de la universidad de Harvard en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente por año.	11
1.4.	Evolución de las emisiones de la universidad de Oxford en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año.	12
3.1.	Introducción a la planilla Excel.	24
3.2.	Flujo recomendado de revisión planilla Excel.	24
3.3.	Tabla resumen de emisiones.	25
3.4.	Formato hojas de alcance.	26
3.5.	Formato hoja de referencia.	27
3.6.	Reseña e hipervínculos de cada hoja.	27
3.7.	Resumen distribución de emisiones de GEI controlados por el Protocolo de Kioto para la FCFM, 2019.	27
4.1.	Nivel de relevancia promedio que tendría la bicicleta en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios.	38
4.2.	Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios para quienes nunca ocupan este medio de transporte.	39
4.3.	Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios para quienes nunca ocupan parcialmente este medio de transporte.	39
4.4.	Condiciones que los usuarios consideraron necesarias para compartir automóvil (26 personas contestaron la pregunta).	40
4.5.	Botón para agregar hojas de tipo “Anexo” en archivo descargable.	42
4.6.	Pantalla de inicio HUELLApp.	51
A.1.	PCM para distintos GEI parte 1 [19].	61
A.2.	PCM para distintos GEI parte 2 [19].	62
A.3.	PCM para distintos GEI parte 3 [19].	62
E.1.	Sección 1, introducción a la encuesta y pregunta 1.	91
E.2.	Sección 1, pregunta 2.	92
E.3.	Sección 1, pregunta 3.	92
E.4.	Sección 1, pregunta 4.	92

E.5. Sección 1, pregunta 5.	93
E.6. Sección 2, introducción a la sección.	93
E.7. Sección 2, pregunta 1.	94
E.8. Sección 2, pregunta 2.	94
E.9. Sección 2, pregunta 3.	95
E.10. Sección 2, pregunta 4.	95
E.11. Sección 2, pregunta 5.	96
E.12. Sección 2, pregunta 6.	96
E.13. Sección 3.1, título de la sección.	96
E.14. Sección 3.1, pregunta 1.	96
E.15. Sección 3.1, pregunta 2.	97
E.16. Sección 3.1, pregunta 3.	97
E.17. Sección 3.1, pregunta 4.	98
E.18. Sección 3.2, título de la sección.	98
E.19. Sección 3.2, pregunta 1.	98
E.20. Sección 3.2, pregunta 2.	99
E.21. Sección 3.2, pregunta 3.	99
E.22. Sección 4, título de la sección.	100
E.23. Sección 4, pregunta 1.	100
E.24. Sección 4, pregunta 2.	101
E.25. Sección 4, pregunta 3.	101
E.26. Sección 5, título de la sección.	102
E.27. Sección 5, pregunta 1.	102
E.28. Sección 6, título de la sección.	103
E.29. Caracterización de la muestra encuestada.	104
E.30. Meses de viaje promedio hacia la facultad durante el 2019.	104
E.31. Días de viaje promedio hacia la facultad pre y post 18 de octubre del 2019.	105
E.32. Uso promedio de los distintos medios de transporte según identidad de género.	105
E.33. Uso promedio de los distintos medios de transporte según estamento.	106
F.1. Explicación de funciones utilizadas para estimar las distancias totales recorridas para el 2019 antes del 18 de octubre.	109
F.2. Explicación de funciones utilizadas para estimar las distancias totales recorridas para el 2019 después del 18 de octubre.	110
G.1. Encuesta Origen-Destino Huella Chile.	117
H.1. Introducción a la encuesta y pregunta 1.	118
H.2. Sección 1, pregunta 2.	119
H.3. Sección 1, pregunta 3.	119
H.4. Sección 1, pregunta 4.	119
H.5. Sección 2, título e introducción.	120
H.6. Sección 2, preguntas 1, 2 y 3.	120
H.7. Sección 2, preguntas 4, 5 y 6.	121
H.8. Sección 2, preguntas 7 y 8.	121
H.9. Sección 3, título de la sección y pregunta 1.	122
H.10. Sección 4, título e introducción.	122

H.11.Sección 4, preguntas 1, 2 y 3.	123
H.12.Sección 4, preguntas 4 y 5.	123
H.13.Sección 4, preguntas 6 y 7.	124
H.14.Sección 5, título de la sección y preguntas 1 y 2.	124
H.15.Sección 6, título y preguntas 1 y 2.	125
H.16.Sección 7, título y preguntas 1 y 2.	125
H.17.Sección 8.	126
H.18.Caracterización de la muestra.	126
H.19.Uso de bicicleta.	127
H.20.Nivel de relevancia promedio que tendría la bicicleta frente a casos hipotéticos.	127
H.21.Uso de transporte público.	128
H.22.Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público frente a casos hipotéticos en los viajes de quienes no se movilizan de esta forma.	128
H.23.Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público frente a casos hipotéticos en los viajes de quienes se movilizan parcialmente de esta forma.	129
H.24.Distribución porcentual de quienes comparten vehículo en su viaje.	129
H.25.Cantidad de veces que se seleccionó cada requerimiento.	130
H.26.Uso de la aplicación.	130
H.27.Transparencia de emisiones.	131
J.1. Sección 1 y pregunta 1.	135
J.2. Sección 1, pregunta 2.	135
J.3. Sección 1, pregunta 3.	136
J.4. Sección 1, pregunta 4.	136
J.5. Sección 1, pregunta 5.	136
J.6. Sección 2, introducción.	137
J.7. Sección 2, pregunta 1.	137
J.8. Sección 2, pregunta 2.	137
J.9. Sección 2, pregunta 3.	138
J.10. Sección 3, introducción.	138
J.11. Sección 3, pregunta 1.	138
J.12. Sección 3, pregunta 2.	139
J.13. Sección 3, pregunta 3.	139
J.14. Sección 3, pregunta 4.	139
J.15. Sección 3, pregunta 5.	139
J.16. Sección 3, pregunta 6.	140
J.17. Sección 3, pregunta 7.	140
J.18. Sección 3, pregunta 8.	140
J.19. Sección 3.1, introducción.	141
J.20. Sección 3.1, pregunta 8.	141
J.21. Sección 4, introducción.	141
J.22. Sección 4, pregunta 3.	141
K.1. Pantalla de inicio.	143
K.2. Inicio de sesión.	144
K.3. Registro de cuenta nueva.	144

K.4. Configuración de la aplicación.	145
K.5. Acciones dentro de la aplicación.	146
K.6. Pantalla nuevo cálculo.	147
K.7. Pantalla estadísticas personales.	148
K.8. Pantalla estadísticas de la institución.	149
K.9. Pantalla ideas de reducción.	150

Glosario

- **Acuerdo de París:** *acuerdo desarrollado en diciembre del 2015 en la COP21 de París y firmado en abril del 2016. En él, los países asociados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático definieron, entre otras cosas, mantener el aumento de la temperatura del planeta en este siglo por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales (idealmente por debajo de los 1,5 °C) [1] [2].*
- **Cambio climático (CC):** *variación del estado del clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, donde se altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural de las condiciones climáticas [3].*
- **Carpooling:** *consiste en compartir vehículo entre personas (que se conocen o no) para viajar al mismo destino con la finalidad de evitar el uso de varios vehículos para la misma ruta [4].*
- **Ecosistema:** *unidad funcional que consta de la interacción de organismos vivos con entorno no vivo. Hoy en día la mayoría de los ecosistemas están influidos por el efecto de las actividades humanas. [3].*
- **Enfoque Antropocéntrico:** *el antropocentrismo implica el reconocimiento del hombre como única entidad moralmente válida, incluso frente a la naturaleza. Si las actividades humanas afectan negativamente una especie o a un ecosistema, el hecho no representa mayor interés pues el cumplimiento de los objetivos antropocéntricos lo justifican. Así, cualquier método y objetivo humano estará por sobre el resto de la naturaleza, sirviendo esta como un reservorio de insumos para las actividades humanas [5].*
- **Enfoque Biocéntrico:** *pensamiento que defiende la relevancia moral de toda la naturaleza, tanto de seres sintientes como no sintientes [5].*
- **Factores de Emisión (FE):** *valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera producto de la realización de alguna actividad. Normalmente se expresan en masa de contaminante liberado en función de la unidad que se asocia a la actividad realizada, por ejemplo, kg de CO₂ liberados por m³ de combustible quemado [6].*

- **Gases de Efecto Invernadero (GEI):** *componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. La propiedad recién descrita causa el efecto invernadero [3].*
- **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC):** *organización intergubernamental de las naciones unidas creada en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta [7].*
- **Huella de Carbono (HC):** *medida de la cantidad de emisiones de GEI en dióxido de carbono equivalente CO_{2eq} provenientes de una serie de actividades y/o procesos [8].*
- **Desarrollo sostenible:** *desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer los recursos de las futuras generaciones. Este concepto integra los intereses sociales, económicos y medioambientales [3].*
- **Natural:** *aquello que es independiente de la influencia o invención humana [9].*
- **Potencial de Calentamiento Mundial:** *valor que contrasta los efectos en el clima de la emisión de un GEI con los provocados por la misma cantidad de CO_2 emitido. El PCM es determinado como la relación entre la fuerza radiativa (diferencia entre la energía absorbida por la tierra y la irradiada al espacio) de la emisión sostenida de cierta cantidad de un GEI y la misma cantidad de emisión sostenida de dióxido de carbono, integradas a través del tiempo para un horizonte temporal fijo [10].*
- **Antropógeno:** *resultante de la actividad de los seres humanos [3].*
- **Protocolo de Kioto:** *tratado internacional realizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en diciembre de 1997 en Japón. La última actualización del protocolo busca que los países adheridos al tratado disminuyan sus emisiones antropógenas de 6 GEI (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC y SF_6) en un 18% como mínimo con respecto a los niveles de 1990 [3].*
- **Servicios Ecosistémicos (SS.EE.):** *procesos o funciones ecológicas que tienen un valor, monetario o no, para cada individuo o para la sociedad en su conjunto. Se pueden clasificar en (1) servicios de apoyo, (2) servicios de aprovisionamiento, (3) servicios de regulación (4) servicios culturales [3].*
- **Temperatura media del planeta en época preindustrial:** *promedio global de la temperatura del planeta tierra durante el período de referencia 1850-1900 [3].*

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contextualización Medioambiental

Hoy en día, el planeta tierra y los seres vivos que lo habitan, se están enfrentando a un período de adaptación, una etapa de cambios. Quizás el principal desafío que amenaza el estilo de vida actual es el conocido “Cambio Climático” (CC). La definición de este concepto puede variar, para algunas personas esto representa un proceso “natural”, algo que era inevitable. Para otras, fue la presión antropogénica del ser humano sobre lo “natural” lo que potenció el CC ¿Qué es lo “natural”? ¿Qué es lo que hace que algo sea “natural”? Son preguntas difíciles de responder, su respuesta dependerá netamente de la percepción y de la valoración de cada individuo con respecto al espacio que lo rodea. Para objetivos de este informe y el análisis que se espera realizar, se considerará lo “natural” cómo “*aquello que es independiente de la influencia o invención humana*” [9].

Las definiciones encontradas para el concepto de Cambio Climático son diversas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su nombre en inglés Intergovernmental Panel on Climate Change) lo define como “*la variación del estado del clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, donde se altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural de las condiciones climáticas*” [3].

Otras descripciones son menos conservadoras, una de las más utilizadas corresponde a “*una serie de alteraciones en el clima debido al aumento de la temperatura global causada por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades humanas*” [11]. En síntesis, el CC corresponde a un problema real, que se atribuye a la presión antropogénica sobre lo natural y al mismo tiempo, a lo natural en si mismo.

¿Cómo evitar el CC? ¿Cómo se puede frenar? Son preguntas que están desfasadas en cuanto a su temporalidad. La pregunta que debe hacerse el día de hoy es ¿Cómo se pueden apaciguar los efectos del CC? ¿De qué forma, los seres vivos del planeta se pueden adaptar? El CC es un problema actual, que ya ha impuesto importantes transformaciones en el planeta y seguirá generándolas. La necesidad de hacer algo no se basa en frenar su efecto (para eso ya es tarde), no obstante, la inercia de los seres humanos frente a este problema puede conllevar

situaciones aún más catastróficas.

Como se mencionó con anterioridad, se le atribuye a los gases de efecto invernadero (GEI de ahora en adelante) una de las principales causas del CC. Estos gases conforman un componente de la atmósfera terrestre y juegan un rol fundamental en el desarrollo de la vida en el planeta, pues impiden que una porción del calor proveniente del sol se propague hacia el espacio [12]. El problema no es que existan los GEI, el problema es la magnitud de su presencia en la atmósfera. Acá es donde la presión antropogénica juega un papel fundamental.

Según el quinto informe de evaluación del IPCC, 1.300 científicas/os del mundo concluyeron que existe una probabilidad mayor al 95 % de que las acciones del ser humano durante los últimos 50 años sean el principal causante del calentamiento abrupto del planeta [13]. Incluso se cree que el problema podría venir de antes pues se estima que las acciones antropógenas del último siglo y medio han aumentado la cantidad de CO_2 (uno de los principales GEI) en la atmósfera desde 280 a 412 ppm [14], lo que se ha reflejado en el incremento de la capacidad de la tierra para retener calor. En la Figura 1.1 se puede apreciar el aumento de la temperatura global del planeta desde 1880 hasta la última década.

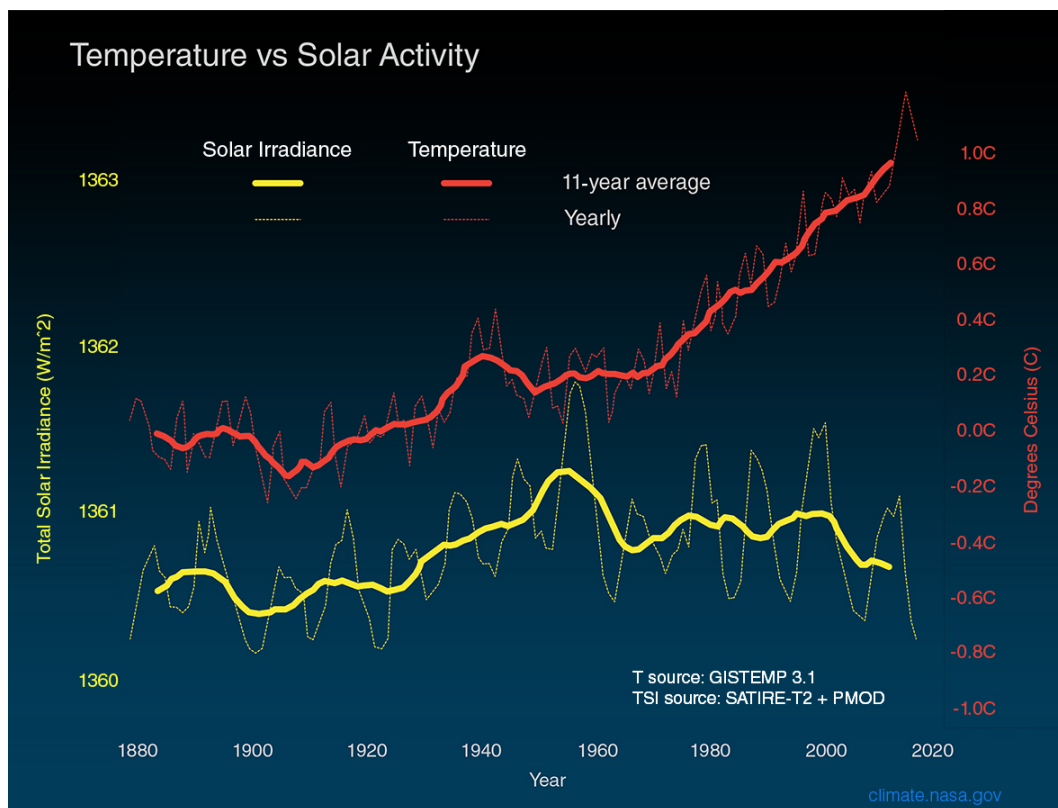


Figura 1.1: Calentamiento global desde 1880 hasta la actualidad [14].

La gráfica recién presentada compara la energía proveniente del sol recibida por la tierra (línea amarilla) en W/m^2 y la variación de la temperatura media del planeta con respecto a su promedio preindustrial (temperatura media del planeta entre 1850 y 1900) en $^{\circ}C$ (línea roja). Las pequeñas variaciones observadas en la cantidad de energía captada se deben

principalmente al ciclo solar, cuya duración es de aproximadamente 11 años [14] [15]. Además, es posible notar que la energía captada no presenta un comportamiento proporcional con respecto al cambio de la temperatura, donde se aprecia un aumento constante e importante desde 1940.

La masificación de los medios de transporte, la producción de bienes y alimentos, la explotación excesiva de los recursos naturales y la constante industrialización del último siglo y medio son algunas de las causas de que hoy, la concentración de GEI en la atmósfera sea preocupante [12].

1.1.1. Gases de efecto invernadero

Tal como se mencionó, la atmósfera contiene GEI de origen natural y/o antrópico. Dentro de los GEI más relevantes por su efecto en el CC se encuentran los siguientes:

- Dióxido de Carbono CO_2 : gas de origen natural y antropógeno. Se puede encontrar como subproducto de la quema de biomasa o combustibles fósiles, de los cambios de uso de tierra (por ejemplo, corte y quema de zonas agrícolas) y de algunos procesos industriales. Se considera el principal GEI antropogénico que afecta el calentamiento global y se utiliza como referencia para medir el impacto de otros GEI [3]. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto¹ [3].
- Metano CH_4 : gas de origen natural y antropógeno. Es el principal componente del gas natural y conlleva importantes repercusiones para la capa de ozono. Gran parte de sus emisiones provienen de la ganadería y agricultura. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto [3].
- Óxido Nitroso N_2O : gas de origen natural y antropógeno. Se produce de manera natural por la acción de fuentes biológicas presentes en suelos y cuerpos de agua pero su mayor aporte al calentamiento global proviene de la agricultura. En menor medida, el óxido nitroso se libera en el tratamiento de aguas residuales, quema de combustibles fósiles y en algunos procesos industriales químicos. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto [3].
- Hidrofluorocarbonos HFC : gas de origen netamente antropógeno (sintético). Corresponde a un gas del grupo de los GEI fluorados. Son emanados a la atmósfera por su uso en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y aislamiento eléctrico en construcciones [16]. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto [3].
- Perfluorocarbonos PFC : gas de origen netamente antropógeno (sintético). Corresponde a un gas del grupo de los GEI fluorados. Son emanados a la atmósfera principalmente a partir de procesos industriales, por ejemplo, en la producción de semiconductores en

¹Tratado internacional realizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en diciembre de 1997 en Japón. La última actualización del protocolo busca que los países adheridos al tratado disminuyan sus emisiones antropógenas de 6 GEI (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC , PFC y SF_6) en un 18 % como mínimo con respecto a los niveles de 1990 [3].

la industria electrónica [17]. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto [3].

- Hexafluoruro de Azufre SF_6 : gas de origen netamente antropógeno (sintético). Corresponde a un gas del grupo de los GEI fluorados. La principal fuente de contaminación se produce en la industria electrónica, al actuar como gas aislante [18]. Este gas está incluido dentro del Protocolo de Kioto [3].

Tal como se mencionó, el efecto de la emisión de los distintos GEI sobre la atmósfera se compara utilizando como referencia al dióxido de carbono. Para esto, se crea el concepto de potencial de calentamiento mundial (PCM)². La Tabla 1.1 muestra el PCM para los GEI recién descritos.

Tabla 1.1: PCM de GEI incluidos en el Protocolo de Kioto [19].

Nombre	PCM para distintos horizontes		
	20 años	100 años	500 años
Dióxido de Carbono	1	1	1
Metano	72	25	8
Óxido Nitroso	289	298	153
HFCs	437 a 12.000	124 a 14.800	38 a 12.200
PFCs	5.210 a 8.630	7.390 a 12.200	11.200 a 18.200
Hexafluoruro de azufre	16.300	22.800	32.600

Los valores de PCM para HFCs y PFCs no presentan un valor fijo debido a los distintos tipos de compuestos que dichos grupos engloban. El Anexo A presenta la tabla completa desde donde se extrajeron los datos. En ella se presentan además, los años de vida media y la Eficiencia Radiativa para los GEI ya mencionados y otros de importancia.

1.1.2. Efectos del Cambio Climático

El cambio climático es en gran parte producido por la presión antropogénica ejercida por los seres humanos. Los cambios que esto ha traído para el planeta tierra son variados, a continuación se mencionan algunos de las consecuencias de dicha presión.

- **Aumento de la temperatura media del planeta:** el aumento de la temperatura media corresponde a la evidencia más clara del CC. Según informes recientes del IPCC, se estima que la presión antropogénica ha causado un incremento de aproximadamente $1\text{ }^{\circ}C$ en la temperatura media del planeta con respecto a los niveles preindustriales [20].

²Valor que contrasta los efectos en el clima de la emisión de un GEI con los provocados por la misma cantidad de CO_2 emitido. El PCM es determinado como la relación entre la fuerza radiativa (diferencia entre la energía absorbida por la tierra y la irradiada al espacio) de la emisión sostenida de cierta cantidad de un GEI y la misma cantidad de emisión sostenida de dióxido de carbono, integradas a través del tiempo para un horizonte temporal fijo [10]. Por ejemplo, un gas con alta fuerza radiativa pero vida corta tendrá un PCM grande en un horizonte de 20 años pero bajo en una escala de 100.

Al ritmo actual, es probable que entre los años 2030 y 2050 la diferencia alcance los $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20] definidos como margen en el Acuerdo de París³. Se cree que para no sobrepasar la brecha definida, las emisiones antropógenas globales debiesen disminuir en aproximadamente un 45 % para el 2030 y ser completamente nulas el 2050 [20].

- **Desertificación:** en términos simples, corresponde a la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas [21]. La desertificación y el CC conforman un círculo vicioso, la primera, potencia la pérdida de suelos fértiles y vegetación, por consiguiente, la capacidad de captar CO_2 del medio ambiente [22]. No solo eso, los suelos contienen gran cantidad de carbono, parte del cual es liberado a la atmósfera debido a la falta de vegetación, aumentando aún más la concentración de GEI [22]. Por otro lado, y como es de esperarse, el incremento de la temperatura en ciertas zonas es propulsor de la desertificación en si [22]. El manejo sostenible⁴ de las tierras ayuda a aumentar la cantidad de Servicios Ecosistémicos (SS.EE.)⁵ y a proteger la biodiversidad [22].
- **Pérdida de Biodiversidad:** hoy en día el 75 % de los ecosistemas terrestres se ha visto alterado y el 66 % en el caso de los marinos [23]. Esto ha conllevado que la población de plantas, animales e insectos esté decayendo a un ritmo casi 100 veces mayor al promedio histórico de los últimos 10 millones de años [23]. Se estima que más de 1 millón de especies están siendo amenazadas con desaparecer por completo [23], esto implica que actualmente se esté viviendo el sexto proceso de extinción masiva del planeta tierra [24]. Desde un punto de vista antropogénico, no solo se está perdiendo un gran número de especies, también los SS.EE. que los ecosistemas conformados por ellas proveen.
- **Deshielos y subida del nivel del mar:** si la emanación de GEI hacia la atmósfera continúa en ascenso (siguiendo el ritmo actual de emisiones) es de esperarse que para fines de este siglo, el nivel del mar sufra un aumento de cerca de $0,8\text{ m}$ en promedio [25]. Lo anterior implica que habría zonas en dónde el incremento sería aún mayor, llegando a ser posible la desaparición de ciudades costeras, plantaciones o ecosistemas de transición (como humedales). Se atribuye este fenómeno a diversas causas, particularmente destacan el derretimiento de glaciares (y capas de hielo) y el aumento de la densidad del agua producto del incremento de la temperatura media de los océanos [26].
- **Fenómenos meteorológicos extremos:** son eventos climatológicos ocasionados por variaciones en el valor histórico de variables climáticas en zonas específicas del planeta [27]. Algunos ejemplos son: sequías, inundaciones, huracanes, etc. También

³Acuerdo desarrollado en diciembre del 2015 en la COP21 de París y firmado en abril del 2016. En él, los países asociados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático definieron, entre otras cosas, mantener el aumento de la temperatura del planeta en este siglo por debajo de los $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ con respecto a los niveles preindustriales (idealmente por debajo de los $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) [1] [2]. Bajo ese escenario se estarían minimizando las repercusiones sobre el planeta.

⁴Proceso que garantiza la persistencia de los sistemas naturales sin perjuicio de los sistemas humanos y viceversa [1].

⁵Servicios obtenidos desde los ecosistemas que afectan de manera positiva a la sociedad y a los cuales se les puede relacionar un valor, monetario o no [1].

pueden provocarse por la interacción de fenómenos climáticos que individualmente no son extremos, pero su suma si lo es [27]. Por el contrario, la ausencia de fenómenos históricamente presentes en regiones específicas también puede considerarse un fenómeno meteorológico extremo [27]. Esta consecuencia del CC afecta a lugares que, debido a su historia, no están preparados para enfrentar ciertas condiciones climáticas.

Las consecuencias recién expuestas están tan relacionadas entre sí como lo están con el CC. Un problema potencia otro y al mismo tiempo ese se relaciona con los demás, haciendo que la dificultad global sea cada vez más difícil de enfrentar. Las conductas de los seres humanos en cuanto a su relación con lo natural, el cambio climático y sus consecuencias forman parte de una gran red viciosa, una difícil de romper (Figura 1.2).

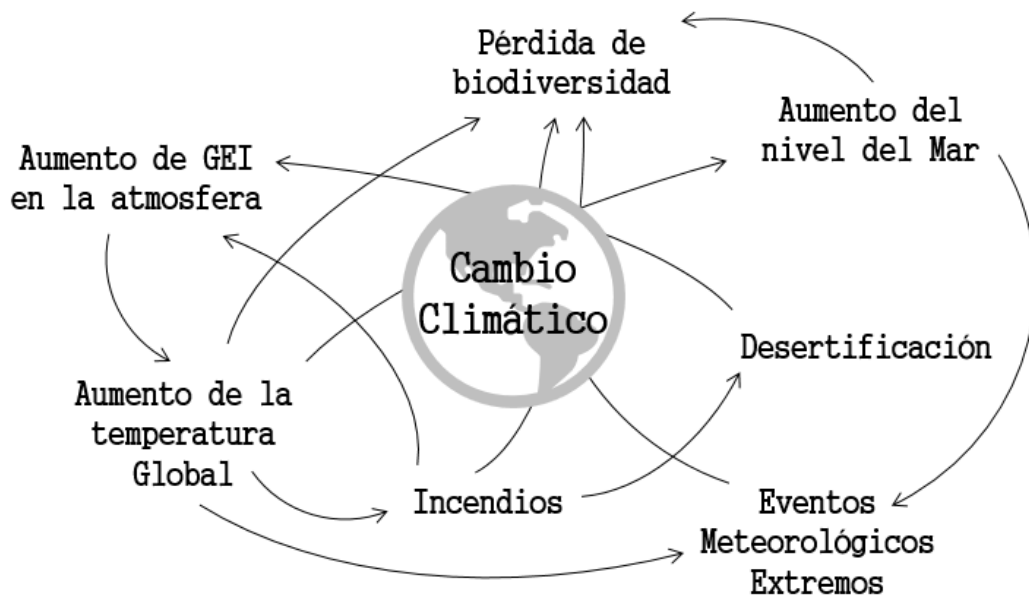


Figura 1.2: Relación entre CC y sus consecuencias. Elaboración propia.

1.2. Motivación

Resulta importante destacar que existen entidades que consideran que las medidas que se han propuesto para combatir el cambio climático son altamente insuficientes. Sólo tomando el caso de las leyes establecidas en Chile, si el resto del planeta adoptara medidas equivalentes, la temperatura media del planeta aumentaría entre 3 y 4 grados Celsius [28] para finales del siglo. Independientemente del enfoque que se adopte frente a esta problemática (antropocéntrico o biocéntrico), el problema es real y requiere de acciones inmediatas.

Tal como se presentó en la sección anterior, la emisión de GEI representa uno de los pilares fundamentales de los problemas asociados al CC. Bajo ese contexto, todos los países y por consiguiente quienes lo conforman, deben tomar conciencia del problema y reducir sus respectivas emisiones.

Uno de los primeros pasos que se requiere para poder establecer un plan de reducción de emisiones es saber la cantidad emitida anualmente, es decir, cuál es la huella de carbono⁶. En el caso de organizaciones u instituciones, esto se conoce como inventario de emisiones de GEI. A grandes rasgos, este cálculo permite cuantificar las emisiones de GEI y presentar la base sobre la cual se establecerán los siguientes pasos para mitigar dichas emisiones.

1.3. Objetivos del trabajo

1.3.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de título es potenciar las líneas temáticas de mitigación y cambio climático de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, estableciendo una metodología que permita generar el inventario de GEI de la institución anualmente y cuya implementación pueda ser replicada en otras instituciones de educación superior. El primer inventario propuesto bajo esta metodología corresponderá al del año 2019.

1.3.2. Objetivos Específicos

Para este trabajo de título se consideran los siguientes objetivos específicos:

1. Presentar el estado del arte de metodologías de cálculo de emisiones de GEI utilizadas por otras instituciones de educación superior de Chile y otras partes del mundo para establecer las bases y criterios de cuantificación aplicables al contexto de la FCFM.
2. Definir los límites organizacionales y operativos del cálculo de las emisiones de GEI en la FCFM de acuerdo a los estándares especificados a nivel de vicedecanato a través de la Oficina de la Ingeniería para la Sustentabilidad.
3. Bosquejar una metodología que permita calcular de manera simple las emisiones anuales de GEI en la facultad, tomando en cuenta los alcances de medición definidos en el límite operacional, los 6 GEI establecidos en el protocolo de Kioto y otras posibles emisiones relevantes.
4. Identificar las fuentes de emisiones que se considerarán dentro del inventario de GEI. Además, recopilar los factores de emisión necesarios para la estimación de la emisión de cada GEI en sus respectivas fuentes emisoras.
5. Realizar la estimación de las emisiones relacionadas a los 6 contaminantes del protocolo de Kioto y otros GEI identificados en las etapas anteriores.

⁶Medida de la cantidad de emisiones de GEI en dióxido de carbono equivalente CO_{2eq} provenientes de una serie de actividades y/o procesos [8].

6. En base a los puntos anteriores, replantear la metodología probada estableciendo propuestas de mejora y proponiendo una alternativa replicable en otras instituciones de educación superior.
7. Sugerir directrices para disminuir las emisiones de GEI de la FCFM, tomando como información base, el inventario correspondiente al año 2019.

1.4. Antecedentes

1.4.1. Conceptos clave

Para comprender de mejor forma las siguientes secciones de este informe, resulta necesario definir algunos conceptos:

- **Límites organizacionales [29]:** corresponde a la frontera que determinará las operaciones que se considerarán como propiedad o bajo el control de la institución que realiza el inventario de GEI. En este ítem, la institución puede contabilizar sus emisiones de acuerdo al porcentaje de relevancia que posee en la estructura accionaria de una organización (enfoque de participación accionaria) o bien, considerar el 100 % de las emisiones atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce control (enfoque de control).
- **Límites operacionales [29]:** hacen referencia a identificar, a grandes rasgos, las fuentes emisoras de GEI asociadas a las operaciones que están contempladas dentro del límite organizacional. Para esto se deben definir qué alcances (definidos a continuación) se considerarán dentro del cálculo.
- **Alcance 1 (emisiones directas de GEI) [29]:** las emisiones directas se consideran como las provenientes de fuentes que son propiedad de la institución. Por ejemplo, generadores de electricidad, vehículos institucionales, calderas, etc. se consideran como fuentes emisoras de alcance 1. Es importante destacar que basándose en las metodologías clásicas que se presentan en la siguiente sección, las emisiones de GEI que no están incluidas en el protocolo de Kioto no deben presentarse en este alcance y deben reportarse de manera independiente.
- **Alcance 2 (emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad) [29]:** en este alcance, se consideran las emisiones relacionadas a la generación de la electricidad adquirida (comprada) y consumida por la institución.
- **Alcance 3 (otras emisiones indirectas) [29]:** corresponde a una categoría opcional al momento de reportar las emisiones de GEI. En este ítem, se incluyen las emisiones que ocurren en fuentes que no son propiedad de la organización, por ejemplo, la huella asociada al traslado de los miembros de la institución o a los viajes financiados por ella, el transporte de materias primas, las emisiones provenientes del manejo de residuos, etc.

1.4.2. Estado del Arte

Metodologías y Estándares para realizar inventarios de GEI

Hoy en día existen distintas metodologías y estándares para realizar inventarios de huella de carbono que consideran los 3 alcances recién comentados. La aplicabilidad de ellas dependerá principalmente de la información que se disponga y de la meticulosidad que se requiera, no obstante, la base de las herramientas metodológicas resulta ser similar en todos los casos. Las más utilizadas son las siguientes:

- **GHG Protocol [29] [30]:** el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) corresponde a un marco metodológico voluntario que ofrece un estándar internacional para que distintas organizaciones puedan realizar sus inventarios de GEI. Este estándar corresponde a la base de las demás herramientas presentadas en este apartado e incluye la contabilidad y el reporte de los seis GEI establecidos en el protocolo de Kioto. La guía que esta herramienta presenta se desarrolló a partir de cinco objetivos: (1) Facilitar la preparación de un inventario de GEI mediante enfoques y principios estandarizados, (2) Reducir los costos asociados al desarrollo de un inventario de GEI, (3) Proporcionar información para que distintas instituciones puedan plantear una estrategia de gestión y reducción de GEI y (4) Aumentar la transparencia de los sistemas para cuantificar y reportar las emisiones de GEI entre distintas instituciones.
- **Estándar ISO 14064-1 [31]:** esta norma detalla los requerimientos básicos para el diseño, desarrollo y el manejo de los inventarios de GEI realizados por empresas e instituciones. Aquí, se especifican las condiciones para establecer los límites de la emisión de GEI y su respectiva cuantificación. Finalmente, esta herramienta presenta propuestas específicas para mejorar la gestión de GEI. Cabe destacar que esta norma es transversal frente a la aplicación de otros programas asociados a la cuantificación y gestión de GEI, es decir, los requisitos de cualquier programa son adicionales a los requeridos por la ISO 14064. Para acceder a las especificaciones de esta norma es necesario pagar.
- **Estándar ISO 14065 [32]:** esta norma especifica las bases y los requerimientos para las empresas e instituciones que lleven a cabo la validación de las emisiones declaradas en su inventarios de GEI. Al igual que la ISO 14064-1, esta norma es transversal frente a la aplicación de otros programas asociados a la cuantificación y gestión de GEI. Para acceder a las especificaciones de esta norma es necesario pagar.
- **Bilan Carbone [30]:** corresponde a una herramienta de libre acceso pero cuyo uso requiere una capacitación que cuesta aproximadamente 2.000 euros. Este método de cálculo de emisiones de GEI se basa en los marcos metodológicos ISO 14064 y el GHG Protocol. Una de las ventajas del uso de esta herramienta corresponde a que cuenta con su propia base de datos de factores de emisión⁷.

⁷Valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera producto de la realización de alguna actividad. Normalmente se expresan en masa de contaminante liberado en función de la unidad que se asocia a la actividad realizada, por ejemplo, kg de CO_2 liberados por m^3 de combustible quemado [6].

- **Huella Chile [33] [34] [35] [36]:** este programa corresponde a una iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) cuyo principal objetivo es el de fomentar la estimación, el reporte y la futura gestión de GEI en organizaciones, tanto del sector público como del sector privado. Huella Chile constituye la principal herramienta para confección de inventarios de GEI utilizada en el país, contando en sus registros con cerca de 800 organizaciones, en donde destacan instituciones de educación superior como la Pontificia Universidad Católica y la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile. La herramienta de cálculo se basa en la ISO 14064-1 y permite cuantificar los 3 alcances de emisión. En términos generales, las instituciones asociadas al programa deben ingresar información que permitirá estimar las emisiones a la plataforma web de la herramienta. Una vez realizado lo anterior, la plataforma retorna los valores totales de emisiones de GEI. Cabe mencionar que para acreditar el inventario con Huella Chile, es necesario pagar a empresas externas que verifiquen el correcto levantamiento de la información utilizada para los cálculos. No fue posible acceder al desglose de los cálculos que realizan, no obstante, cuentan con una base de datos de libre acceso de factores de emisión aprobados por el MMA.

Cálculo de la Huella de Carbono en otras instituciones de educación superior

Alrededor del mundo, se suelen utilizar las herramientas metodológicas descritas anteriormente. Sin embargo, la realidad de cada institución puede diferir y, por lo tanto, las metodologías son aplicadas tomando en cuenta distintas consideraciones. A continuación, se presentan algunos ejemplos de procedimientos de cálculo de huella de carbono en otras instituciones de educación superior.

- **Universidad de Harvard (Estados Unidos):** la universidad de Harvard cuenta con un programa completo de sustentabilidad. El año 2000 el área de sustentabilidad de la institución, realizó su primer inventario de GEI. El día de hoy, cuantifican sus emisiones mensualmente para presentarlas de manera libre en su página web [37]. Su inventario considera los siguientes componentes:
 - Emisiones asociadas al alcance 1.
 - Emisiones asociadas al alcance 2.
 - Cuantificación de emisiones de los 6 gases principales del protocolo de Kyoto.
 - El límite organizacional definido considera cerca de 2 millones de metros cuadrados correspondientes a dependencias de la institución. Lo anterior abarca más de 600 edificios a lo largo del país.

Actualmente, Harvard realiza sus inventarios siguiendo el GHG Protocol, no obstante, se encuentran en proceso de desarrollar una alternativa que les permita medir sus emisiones de manera inmediata, es decir, en línea [37].

Con las medidas tomadas por la institución, hasta el 2016 habían logrado reducir, pese al crecimiento de la universidad, en un 24 % sus emisiones con respecto al año 2006 [38]. Sin considerar ese crecimiento, la reducción es de aproximadamente el 40 % [38]. Para lograr tal nivel de reducción, luego de cuantificar sus emisiones, siguieron los siguientes

pasos [38]:

- Buscar un aumento de la eficiencia energética de sus edificios, principalmente el consumo asociado al calentamiento, enfriamiento e iluminación de estos.
- Potenciar la energía producida en las mismas dependencias de la universidad.
- Potenciar el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables no convencionales.
- Crear un plan para descentralizar la organización de la universidad alrededor de un conjunto de principios comunes con el fin de brindar autonomía a cada departamento para innovar y tomar decisiones asociadas a sus emisiones de GEI.

La siguiente figura presenta la evolución de las emisiones de Harvard en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente por año (ver Figura 1.3) [39].

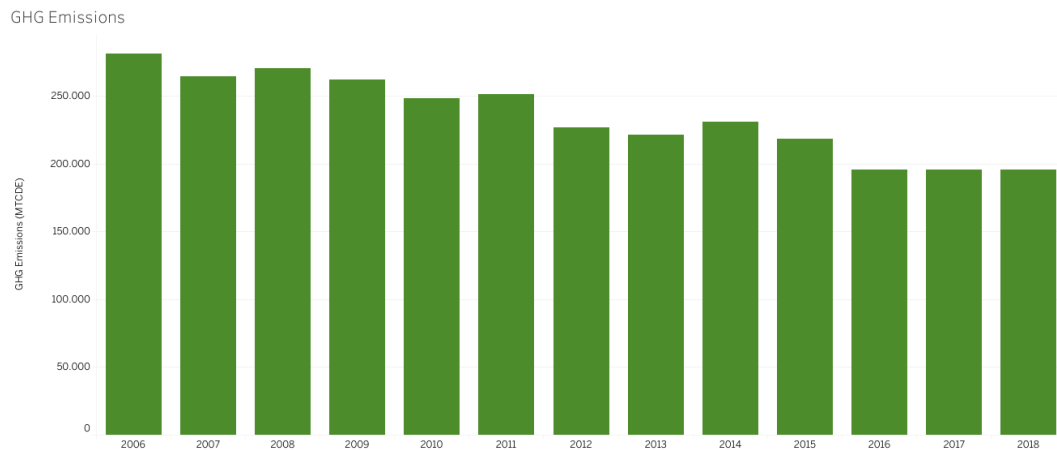


Figura 1.3: Evolución de las emisiones de la universidad de Harvard en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente por año.

- **Universidad de Oxford (Inglaterra):** la universidad de Oxford también cuenta con un programa de sustentabilidad, el cual abarca más de 15 años de historia. A grandes rasgos, su plan de trabajo consta de 3 fases [40]:
 - Estimar la línea base, considerando los impactos ambientales y los posibles stakeholders del problema asociado a sus emisiones de GEI.
 - Reportar la estrategia para reducir sus emisiones de GEI.
 - Proponer estrategias para el manejo de aguas y residuos.

Particularmente, con respecto a las emisiones de GEI, cuentan con una iniciativa que en un comienzo buscaba reducir hasta el 2021, un 33 % las emisiones detectadas en el año 2006. No obstante, el crecimiento de la universidad (actualmente casi 3 veces más grande que el 2006), los llevó a replantear su objetivo inicial y formularse la meta de alcanzar una reducción del 50 % para el 2030 (con base en el 2006) [41].

Su metodología se basa en el GHG Protocol considerando los 3 alcances de emisión [40]. Los lineamientos seguidos para cumplir sus objetivos de emisión son los siguientes [40]:

- Lograr una reducción significativa de las emisiones de GEI, manteniendo la excelencia y el rol de la universidad frente a la sociedad.
- Seguir una jerarquía energética al implementar en primera instancia, medidas rentables para reducir el uso de energía, luego mejorar la eficiencia energética y finalmente, dentro de lo posible, desarrollar fuentes de energía renovables.
- Reducir el consumo energético y las emisiones de carbono en las actividades relacionadas a los laboratorios sin perjudicar las actividades de investigación académica de primer nivel.
- Trabajar en conjunto con todos los estamentos de la universidad para desarrollar soluciones que permitan reducir las emisiones de GEI.
- Adoptar un enfoque con mayor proyección en cuanto a los costos y beneficios de reducir la huella de carbono y, al mismo tiempo, considerar la seguridad y sostenibilidad del suministro de combustible en el futuro.

El último reporte de sustentabilidad que se encuentra disponible en su página web corresponde al del año 2016 [42]. La Figura 1.4 presenta el avance en la disminución de emisiones de la universidad hasta el año 2015.

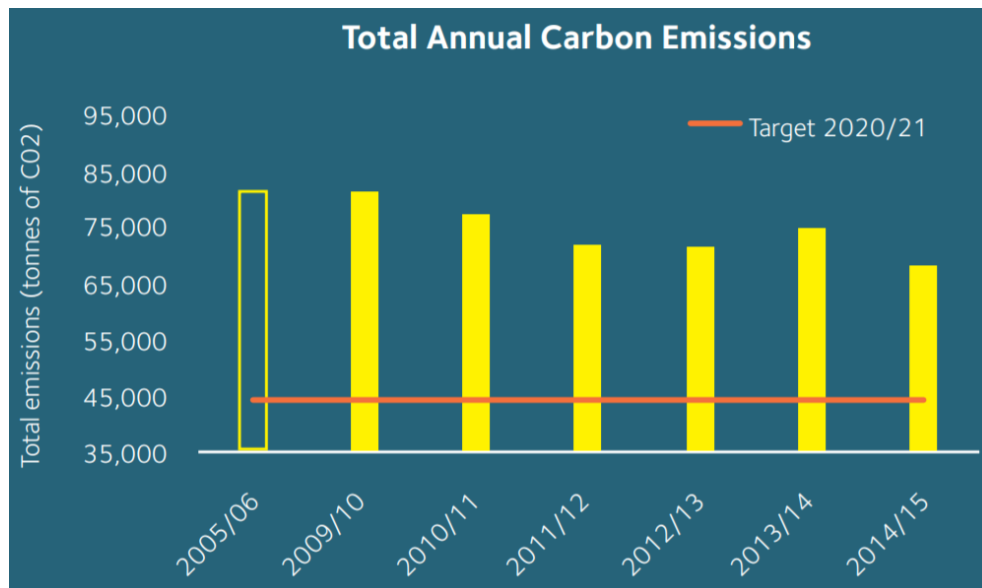


Figura 1.4: Evolución de las emisiones de la universidad de Oxford en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año.

- **Pontificia Universidad Católica (Chile):** esta universidad calcula sus emisiones de GEI gracias a su inclusión en el programa Huella Chile del Ministerio del Medio Ambiente. En su página web transparentan las emisiones obtenidas el año 2017 y la caracterización del transporte de la comunidad universitaria del año 2015 [43]. Su inventario de GEI considera los 3 alcances de emisión, específicamente (C. Campos, comunicación personal, 6 de abril del 2020):

Alcance 1:

- Consumo de combustible en calderas.
- Consumo de combustible en vehículos pertenecientes a la institución.
- Consumo de refrigerantes.

Alcance 2: consumo de electricidad.

Alcance 3:

- Traslado diario de población (considerando alumnos y personal, tanto académicos como funcionarios).
- Viajes de trabajo de la comunidad universitaria (alumnos y personal).
- Adquisición y consumo de papel.
- Residuos (incluyen residuos que son enviados a relleno sanitario, los que son reciclados y los orgánicos que son compostados).

Para intentar reducir las emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria, su mayor foco de emisiones (69%) [44], han optado por medidas como “hacer campañas para promover el uso de transporte público, aumentar el precio de los estacionamientos para vehículos particulares y incrementar la cantidad de bicicleteros disponibles en el campus” (C. Campos, comunicación personal, 9 de abril del 2020). Además de lo anterior, la universidad desarrolló la aplicación *Comparte tu viaje UC* que busca fomentar el uso de bicicleta y el carpooling⁸ entre los miembros de la institución [45].

Huella de Carbono en la FCFM

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ya ha levantado iniciativas que buscan cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero. En su página web es posible encontrar el cálculo de la huella de carbono de la institución para el período abril 2014 - abril 2015 [46] junto con un plan para mitigar tales emisiones [47]. No obstante, no existe documentación que permita realizar un seguimiento de aquel estudio y el cumplimiento del plan de reducción asociado.

Además, el año 2019 la facultad emitió una declaración pública en dónde se estableció la intención de alcanzar la carbono neutralidad antes del año 2050 [48]. Algunos puntos que vale la pena destacar con respecto a los compromisos adoptados por la FCFM en el comunicado son los siguientes [48]:

- En el 2020, definir una estrategia de fortalecimiento de la investigación e innovación para enfrentar los desafíos que presenta el cambio climático.
- Desarrollar programas de reforestación para compensar las emisiones de carbono.
- Reducir la huella de carbono asociada al transporte.
- Reducir el consumo energético y aumentar la autogeneración de electricidad.

⁸Consiste en compartir vehículo entre personas (que se conocen o no) para viajar al mismo destino con la finalidad de evitar el uso de varios automóviles para la misma ruta [4].

- Ahondar en las medidas de reducción y reciclaje de residuos.

Junto con la declaración recién mencionada, se realizó un cálculo provisorio de la huella de carbono de la FCFM con base en el año 2018. Los alcances considerados y las emisiones asociadas a cada uno se detallan en la Tabla 1.2 (R. Cabezas, comunicación personal, 25 de mayo del 2020).

Tabla 1.2: Huella de carbono FCFM 2018.

Alcance	Ítem	Emisión <i>t CO_{2eq}</i>	Total <i>t CO_{2eq}</i>
Alcance I	Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	402	458
	Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	56	
Alcance II	Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	4.600	4.600
Alcance III	Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio	301	9.031
	Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM	1.230	
	Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	7.500	
		Total t CO_{2eq}	14.089

1.4.3. Comentarios generales

Es posible notar que las metodologías existentes para el cálculo de emisiones de GEI son bastante similares. El GHG Protocol y la norma ISO 14064 corresponden a las herramientas más utilizadas pues, como se presentó, representan la base de las otras herramientas asociadas a la creación de inventarios de GEI. Con respecto a su aplicabilidad, resulta importante destacar que el GHG Protocol corresponde a una herramienta gratuita y cuyo manual de procedimiento se encuentra disponible de manera liberada en su página web. No obstante, esta guía presenta los aspectos generales que conlleva la confección de un inventario de GEI pero no detalla las operaciones necesarias para llegar a la magnitud final de las emisiones.

Dado que en Chile la herramienta más utilizada corresponde al programa que ofrece Huella Chile, se opta por utilizar la base de datos de factores de emisión que ofrece la plataforma del proyecto. De esta manera, se busca que los resultados de emisiones para la FCFM sean comparables con los que entregaría Huella Chile. Pese a lo anterior, es importante resaltar que el procedimiento exacto que realiza el programa mencionado para obtener las emisiones de las organizaciones adscritas es desconocido y por el momento sólo se puede especular acerca

de él.

Los programas de sustentabilidad de las universidades nombradas se ajustan de manera particular a cada una de sus realidades y, por consiguiente, las acciones llevadas a cabo también lo hacen. Comparando los objetivos de mitigación propuestos por las universidades de Oxford y Harvard con lo estipulado por la FCFM, la meta pareciese no ser tan distinta. Sin embargo, tal como se mencionó con anterioridad en este escrito, el problema real requiere aún más esfuerzos, tomar medidas de ese nivel no impedirá que el aumento de la temperatura media del planeta sobrepase los 1,5 °C.

El cálculo de las emisiones de CO_{2eq} de la FCFM realizado para el año 2018 tiene como principal fuente emisora el transporte de la comunidad universitaria con cerca de un 53% del total. Es importante destacar que este cálculo se realizó con datos del transporte de la comunidad en base al año 2017 [49], sin considerar meses efectivos en los que viajó cada encuestada/o y, asumiendo en su lugar, porcentajes de traslado para cada estamento de la comunidad durante distintas instancias del año académico, por ejemplo, que solo el 80% de los estudiantes viaja en temporada de exámenes o que todas/os las/os funcionarias/os se trasladan durante 11 meses hacia la facultad (R. Cabezas , comunicación personal, 25 de mayo del 2020). Junto a esto, la estimación conlleva un error asociado al duplicado de honorarios que figuraban en la lista de personas por estamento que maneja la FCFM (R. Cabezas , comunicación personal, 25 de mayo del 2020).

Con respecto a la encuesta Origen-Destino, la distancia teórica recorrida por cada encuestada/o tuvo que ser estimada una por una, tarea que tomó cerca de 2 meses de trabajo. La distancias asociadas a viajes de académicas/os y funcionarias/os también fueron calculadas manualmente. El resto de las estimaciones se realizaron en base a factores de emisión distintos a los provistos por Huella Chile (R. Cabezas , comunicación personal, 25 de mayo del 2020). Es por lo anterior que no es de esperarse similitudes al momento de comparar la huella obtenida para el año 2018 con la que se presentará en las siguientes secciones de este informe.

Se cree que el cumplimiento de los objetivos de este trabajo, en particular los asociados al inventario de GEI de la FCFM, significarán un avance importante en dirección a la carbono-neutralidad de la institución. Se espera que en base a estos resultados se puedan establecer metas de mitigación realistas y al mismo tiempo ambiciosas.

Capítulo 2

Metodología

Con el fin de cumplir los objetivos planteados, para este proyecto de tesis se planteó la siguiente metodología de trabajo:

2.1. Contacto con otras instituciones

Entendiendo que la experiencia es una importante fuente de conocimiento, se entabló conversaciones con otras instituciones de educación superior que hayan o estén realizando programas de reducción de huella de carbono. En particular se contactó a las universidades de Harvard y Oxford en Estados Unidos y en Chile, a la Pontificia Universidad Católica y la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile.

Pese a que se obtuvo respuesta de todas las instituciones mencionadas, desde esta iniciativa sólo se consiguió información relevante desde la Oficina de Sustentabilidad de la Pontificia Universidad Católica. También se intentó generar contacto con el programa Huella Chile pero solo se logró recopilar información desde su página web.

2.2. Apoyo de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad

Uno de los pilares de este trabajo correspondió a la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. La OIS actuó como intermediario para la recopilación de información y la toma de decisiones provenientes de vicedecanato.

Gracias a su gestión, luego de presentar una primera propuesta, fue posible definir los límites organizacionales y operativos para el cálculo de las emisiones de GEI de acuerdo a los estándares definidos por vicedecanato.

2.3. Metodología para inventario 2019

En base a los pasos generales propuestos por el GHG Protocol se bosquejó la metodología bajo la cual se cuantificaron las emisiones de la FCFM para el año 2019. Esta metodología corresponde a uno de los principales resultados de este trabajo y por lo tanto se aborda con mayor detalle en la siguiente sección.

Con la ayuda de la OIS, se realizó la recopilación de gran parte de la información necesaria para realizar los cálculos

2.4. Herramienta para recopilar información asociada al transporte de la comunidad

En relación al punto anterior y conociendo la dificultad que existe para estimar las emisiones asociadas al transporte de la comunidad, se diseñó y aplicó un mecanismo que permite recopilar la información necesaria para calcular dicho ítem.

La herramienta corresponde a una encuesta utilizando la plataforma *Google Forms* en dónde se busca conocer los hábitos de transporte de la comunidad universitaria. Para caracterizar el transporte de todo el universo de personas que conforma la FCFM, se aplicó un factor de expansión a las respuestas recopiladas para cada estamento.

Tal como se mencionó, la propuesta metodológica en sí corresponde a un resultado de este trabajo por lo que se aborda con mayor profundidad en la siguiente sección.

2.5. Herramienta para calcular distancias

Se diseñaron tres funciones basadas en las herramientas *Google Maps* y *Google Sheets* que permiten calcular de manera rápida y sencilla la distancia entre dos puntos. Bajo esta herramienta es posible obtener la distancia por vía terrestre o aérea. Las funciones se encuentran disponibles en la sección de anexos.

2.6. Calculo de emisiones

Una vez que se contaba con toda la información necesaria para estimar las emisiones, se realizaron los cálculos para los ítems definidos en el límite operacional basándose en los factores de emisión provistos por el programa Huella Chile, el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (DEFRA por su nombre en inglés Department for Environment, Food and Rural Affairs) y la Comisión Nacional de Energía (CNE).

El cálculo de las emisiones se realizó en base a la confección de una planilla *Excel* la cuál se encuentra anexada a este documento.

2.7. Análisis de resultados numéricos

Los resultados de emisión fueron analizados identificando las principales diferencias con respecto a su símil para el año 2018.

En este punto destaca el cálculo del error marginal que se obtendría en el resultado final si es que se variase en un 10 % la magnitud de la información utilizada para el cálculo de cada ítem de emisión. Esto último se llevo a cabo con el fin de comprobar la robustez de la metodología utilizada.

2.8. Análisis de metodología propuesta

Se examinó la metodología propuesta en busca de mejoras en base a los fallos o dificultades identificadas a lo largo de su aplicación. En base al análisis se procedió a plantear la metodología definitiva en busca de una alternativa de fácil aplicación y cuyos resultados fuesen confiables.

2.9. Vídeos tutoriales

Se procedió a confeccionar una serie de vídeos tutoriales cuyo objetivo recae en facilitar el entendimiento y aplicación de la metodología definitiva propuesta.

Los vídeos fueron editados en el programa *Adobe Premiere* y fueron compartidos en la plataforma *YouTube*.

2.10. Lineamientos a seguir

En base a los resultados obtenidos y a la experiencia rescatada desde otras instituciones, se procedió a proponer los lineamientos para disminuir las emisiones de la FCFM con base en el inventario del año 2019.

Capítulo 3

Resultados y Discusiones

3.1. Metodología aplicada para la confección del inventario de GEI de la FCFM 2019

Para confeccionar el inventario de GEI de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile del año 2019 se planteó y aplicó la metodología presentada a continuación. La propuesta se basa en el programa Huella Chile y en las directrices generales del GHG Protocol.

La metodología se divide en 5 grandes etapas:

1. Definir límites organizacionales y operacionales.
2. Recopilar información disponible.
3. Contrastar información requerida con la disponible.
4. Adquirir y Procesar información complementaria.
5. Calcular emisiones.

Los siguientes apartados presentan el desglose de cada paso que conforma la propuesta metodológica.

3.1.1. Definir límites organizacionales y operacionales

En primer lugar, se deben establecer los límites organizacionales y operacionales de la entidad de educación superior para el cálculo de la huella de carbono. La definición de los límites se debe realizar con la aprobación de las autoridades máximas de la institución pues son ellas quienes deberán responder por las emisiones obtenidas.

En este caso, en conjunto con la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad y su nexa con vicedecanato, el límite organizacional determinado para la FCFM fue el siguiente:

- Beauchef 851 Oriente.

- Beauchef 851 Poniente.
- Beauchef 851 Norte.
- Edificio de Geofísica e Ingeniería Civil.
- Edificio de Geología.
- Edificio Escuela.
- Edificio Química.
- Edificio Eléctrica.
- Edificio Física.
- Torre central.
- Otras dependencias, incluidas: Departamento de Atronomía Universidad de Chile en Cerro Calán, Departamento de Ingeniería Civil Industrial en República y Casino-SEMDA en Blanco Encalada.

Por otro lado, el límite operacional para la confección del inventario de GEI se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Límites operacionales fijados para inventario de GEI FCFM 2019.

Alcance	Ítem
Alcance I	A1.1 Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes
	A1.2 Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos
	A1.3 Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos
Alcance II	A2.1 Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por las dependencias abarcadas en el límite organizacional
	A3.1 Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio
Alcance III	A3.2 Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM
	A3.3 Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os realizados en representación de la FCFM
	A3.4 Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM

3.1.2. Recopilar información disponible

En segundo lugar se debe determinar de qué forma se llevará a cabo la estimación de los cálculos. La metodología propuesta estima las emisiones a partir de factores de emisión (FE).

Existen dos fuentes que presentan una base de datos completa donde es posible encontrar FE para los distintos límites operacionales. En primera instancia se recomienda utilizar los factores presentados por el programa Huella Chile del Ministerio del Medio Ambiente [50]. De no encontrarse los FE requeridos en esa plataforma, se puede utilizar (con un mayor rango de incertidumbre) la base de datos del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido [51] (DEFRA por su nombre en inglés Department for Environment, Food and Rural Affairs). Para el caso particular del Alcance II, los factores

de emisión se encuentran disponibles en la página web de la Comisión Nacional de Energía (CNE) [52].

El uso de FE requiere de la ponderación de dichos valores por una magnitud que permita cuantificar las emisiones de CO_{2eq} . Para lo anterior resulta importante determinar con qué información se cuenta para calcular cada una de las emisiones consideradas dentro del límite operacional. A continuación, la Tabla 3.2 presenta la información que fue posible recopilar con la intermediación de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad de la FCFM.

Tabla 3.2: Información recopilada para cada ítem de emisión.

Ítem	Información recopilada
A1.1 Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	Cantidad y tipos de refrigerantes adquiridos por la FCFM durante el año 2019 en kg
A1.2 Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos eléctricos	Cantidad y tipo de combustible adquirido por la FCFM durante el año 2019 en L
A1.3 Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	Montos facturados mensualmente para la adquisición de combustibles durante el año 2019 en clp
A2.1 Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por las dependencias abarcadas en el límite organizacional	Cantidad de energía consumida por las dependencias abarcadas en el límite organizacional durante el año 2019 en MWh .
A3.1 Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en en relleno sanitario o centro de acopio	Cantidad y tipos de residuos producidos por la FCFM durante el año 2019 en kg . Además se cuenta con la distancia desde la institución hasta los destinos finales de cada tipo de residuo en km
A3.2 Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM	Cantidad de agua consumida por las principales dependencias de la FCFM durante el año 2019 en m^3
A3.3 Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os realizados en representación de la FCFM	Origen y destino (Ciudad, País) de los viajes de académicas/os y y funcionarias/os realizados durante el año 2019
A3.4 Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	Caracterización de la comunidad universitaria de la FCFM en n° de personas por estamento

3.1.3. Contrastar la información requerida con la disponible

En base a las unidades de los factores de emisión con los que se cuenta es posible determinar la información que se requiere para llevar a cabo los cálculos.

La Tabla 3.3 presenta las unidades de los distintos FE y, por consiguiente, la información que fue necesaria para determinar el inventario de GEI en el caso particular de la FCFM.

Tabla 3.3: Información necesaria para calcular las emisiones de GEI para la FCFM 2019.

Ítem	Unidades del FE con el que se cuenta	Información necesaria
A1.1	$kg\ CO_{2eq}/kg$	Masa en kg de cada tipo de refrigerante adquirido
A1.2	$kg\ CO_{2eq}/m^3$	Volúmen en m^3 de cada tipo de combustible utilizado
A1.3	$kg\ CO_{2eq}/m^3$	Volúmen en m^3 de cada tipo de combustible utilizado
A2.1	$t\ CO_{2eq}/MWh$	Energía consumida en MWh por las dependencias abarcadas dentro del límite organizacional
A3.1	$kg\ CO_{2eq}/t \cdot km$	Masa y tipo de residuos en t y distancia en km desde facultad hacia destino final
	$kg\ CO_{2eq}/t$	Masa de cada tipo de residuos kg que va hacia cada destino
A3.2	$kg\ CO_{2eq}/m^3$	Volúmen en m^3 de agua consumida por la FCFM
A3.3	$kg\ CO_{2eq}/km$	Distancia total en km recorrida en cada medio de transporte
A3.4	$kg\ CO_{2eq}/km$	Distancia total en km recorrida en cada medio de transporte

En base a lo anterior y lo expuesto en la Tabla 3.2 se desprende que para las fuentes A1.1, A1.2, A2.1, A3.1 y A3.2 no se requirió de mayor desarrollo para poder estimar sus emisiones.

3.1.4. Adquirir y Procesar información complementaria

Adquisición de información complementaria

Para que el cálculo abarcara el límite operacional definido fue necesario trabajar con los datos disponibles o recopilar información complementaria para estimar las emisiones asociadas a los ítems A1.3, A3.3 y A3.4. A continuación se resume la forma bajo la cual se obtuvieron los datos necesarios restantes para la confección del inventario de GEI de la FCFM.

- **A1.3 Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos:** los costos totales producto de la adquisición de gasolina para cada mes del año 2019 fueron aproximados a metros cúbicos consumidos mensualmente. Esto se realizó a partir del precio mínimo registrado para cada tipo de combustible durante los meses del año de estudio. El Anexo B.1.3 presenta con mayor detalle el procedimiento realizado.
- **A3.3 Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os realizados en representación de la FCFM:** para obtener el valor de distancia recorrida en cada medio de transporte se crearon dos funciones basadas en la aplicación *Google Maps*.

La primera función es capaz de determinar la distancia en km de la ruta óptima que existe entre dos ubicaciones cuando la medición se realiza considerando transporte en automóvil. La segunda calcula la distancia lineal en km que existe entre los mismos puntos que utiliza la función ya descrita. Los códigos de las funciones implementadas se encuentran disponibles en los Anexos D.1 y D.2.

Finalmente, se establecieron ciertos criterios detallados en el Anexo B.3.3 para determinar la distancia total recorrida en cada uno de los medios de transporte considerados.

- **A3.4 Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM:** al igual que en el punto anterior, para obtener la distancia que se recorre en cada medio de transporte se creó una función basada en la aplicación *Google Maps*.

La función es capaz de determinar la distancia en *km* que entrega la ruta óptima que existe entre dos ubicaciones al seleccionar transporte público, automóvil, caminata o bicicleta (para ver el código de la función implementada, ver Anexo D.3).

Para caracterizar el transporte de la comunidad universitaria se confeccionó una encuesta Origen-Destino la cual fue aplicada a parte de la población de la FCFM. De este estudio se obtuvo, entre otras cosas, datos asociados a las direcciones y periodicidad con la que viajó cada encuestada/o a la facultad durante el año 2019 (para conocer la encuesta aplicada, ver Anexo E).

Finalmente, los resultados obtenidos fueron amplificados utilizando factores de expansión. De esa forma se estimó la distancia teórica total que recorrieron los miembros de la comunidad universitaria durante el año 2019 en distintos medios de transporte al viajar hacia y desde la FCFM. El detalle de los supuestos tomados y el tratamiento de los datos recopilados en la encuesta se presenta en los Anexos B.3.4 y F respectivamente.

Descripción de herramienta utilizada para manejo y ordenamiento de información

Resulta importante contar con una herramienta que permita estandarizar el ordenamiento de la información y los posteriores cálculos. En el caso de esta propuesta metodológica, se ocupó el programa *Microsoft Excel*.

La interfaz de la plantilla construida cuenta con 6 grandes secciones. A continuación se presenta cada una de estas partes y la descripción de las características comunes de cada hoja de cálculo. Para ver el detalle de la planilla se recomienda visitar el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm* (Anexo L).

1. **Introducción e Índice:** tal como el nombre lo dice, corresponde a la introducción del archivo. En esta hoja se presenta el documento y el flujo de revisión recomendado para maximizar su entendimiento. A continuación, las Figuras 3.1 y 3.2 presentan la introducción al documento y el índice presentado.

HUELLA DE CARBONO FCFM 2019
<p>El presente documento presenta los cálculos realizados para estimar la huella de carbono de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile durante el año 2019. El cálculo se basa principalmente en el GHG Protocol y la mayor parte de los factores de emisión utilizados son los reportados por el programa Huella Chile. A continuación se presenta el flujo de revisión recomendado para este documento.</p>

Figura 3.1: Introducción a la planilla Excel.

0. Resumen emisiones	Cada título contiene un hipervínculo hacia la hoja especificada
1. Alcance 1	
1.1. Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	
1.2. Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos	
1.3. Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	
A.1. Combustibles vehículos	
A.1. Combustible electrógenos	
2. Alcance 2	
2.1. Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	
A.2. Consumo eléctrico 2019	
A.2. Boletas electricidad	
A.2. N° Clientes y Direcciones	
3. Alcance 3	
3.1. Emisiones asociadas al transporte y disposición en relleno sanitario de residuos	
3.2. Emisiones asociadas al consumo de agua	
3.3. Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM	
3.4. Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	
A.3. Residuos FCFM	
A.3. Viajes FCFM	
A.3. Resultados Encuesta origen-destino	
A.3. Análisis encuesta 1	
A.3. Análisis encuesta 2	
A.3. Análisis encuesta 3	
A.3. Factores de emisión traslado comunidad	
4. Referencias	
5. FE Huella Chile	

Figura 3.2: Flujo recomendado de revisión planilla Excel.

2. **Resumen de emisiones:** esta hoja corresponde a la síntesis de los resultados. Se espera que el lector consulte esta hoja cuando requiera conocer los valores obtenidos para las emisiones de GEI de los distintos alcances de emisión. Esta hoja cuenta con: (1) Resumen, (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice o a cada uno de los alcances de emisión, (3) Tabla con el resumen de las emisiones (ver Figura 3.3) y (4) Gráfico con distribución porcentual de las emisiones.

Alcance	Ítem	Emisión t CO2eq	Total t CO2eq	% dentro del alcance	% dentro del total
Alcance I	Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes				
	Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos	Emisión total por ítem y por alcance		Distribución porcentual de la emisión con respecto al alcance y el total	
	Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos				
Alcance II	Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad				
Alcance III	Emisiones asociadas al transporte y disposición en relleno sanitario de residuos				
	Emisiones asociadas al consumo de agua				
	Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os financiados por la FCFM				
	Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM				

Figura 3.3: Tabla resumen de emisiones.

3. **Alcances:** las hojas de cálculo bajo este nombre presentan el desglose de las operaciones realizadas para llegar a los valores de emisión que se presentan en la hoja de resumen. Este tipo de hoja cuenta con: (1) Resumen, (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice, a las otras hojas de alcance o los anexos correspondientes al alcance que se está revisando, (3) Valor de las emisiones totales asociadas al alcance (4) Hipervínculo con las emisiones consideradas dentro del alcance y (5) Resumen de metodología utilizada para cada operación, ecuaciones utilizadas, supuestos utilizados y tabla resumen del cálculo. La Figura 3.4 presenta el último punto mencionado.

X. Emisiones asociadas a ...

Metodología utilizada para estimar este cálculo:	Resumen de la metodología utilizada para estimar el ítem, incluyendo la información con la que se cuenta y la manera en que se manipulan los datos.	Ir a: Hipervínculo Anexo X						
	Ecuación utilizada (eq AX.Y) [ref]	Ecuación utilizada, referencia de la ecuación, nomenclatura y unidades.						
	Nomenclatura y unidades de la ecuación							
Supuestos utilizados:	1. Listado de los supuestos considerados para la estimación. : n.							
Tipo fuente emisora	Magnitud asociada	Unidad	GEI emanados	Factor de emisión	Unidad	Emisión calculada	Unidad	Referencia
Descripción de cada fuente emisora dentro del ítem	Magnitud que permite realizar el cálculo	Unidad de la magnitud	Listado de GEI provenientes de la fuente	Factor de emisión utilizado	Unidad del factor de emisión	Emisión estimada a partir de la ecuación	Unidad de la emisión calculada	Referencia del factor de emisión
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
Emisión total asociada a...	Suma total de emisiones	kg CO2eq t CO2eq						

Figura 3.4: Formato hojas de alcance.

- Anexos:** las hojas de cálculo de este tipo están denominadas bajo el nombre “A.X. Nombre Anexo”, en donde X se asocia al número de alcance correspondiente (ver Figura 3.1). La información contenida en estas hojas hace referencia a los datos con los que se cuenta para realizar los cálculos. Además, en ellas se realizan todas las operaciones necesarias para poder contar con la “Magnitud asociada” en cada ítem de las hojas de Alcance. Junto a lo anterior, este tipo de hoja cuenta con: (1) Resumen y (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice o a la hoja de alcance correspondiente.
- Factores de emisión:** tal como se mencionó en un comienzo, una de las principales fuentes recomendadas para obtener los FE corresponde a la base de datos de Huella Chile, esta hoja presenta dicha información. Además incluye: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculo para trasladar al lector al índice.
- Referencias:** corresponde a las fuentes de información utilizadas para el cálculo de las emisiones (ver Figura 3.5), por ejemplo, fuentes de FE que no se encuentran en la base de datos adjunta. El lector puede acceder a esta hoja mediante hipervínculos provistos a lo largo del documento que hacen referencia a cada fuente específica. Además incluye: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculo para trasladar al lector al índice.

[1] Fuente citada en formato APA
⋮
[n]

Figura 3.5: Formato hoja de referencia.

7. **Características comunes:** todas las hojas cuentan con una breve reseña de lo que el lector puede encontrar ahí y los hipervínculos que permiten un traslado más cómodo a través del archivo. Esto queda ejemplificado en la Figura 3.6:

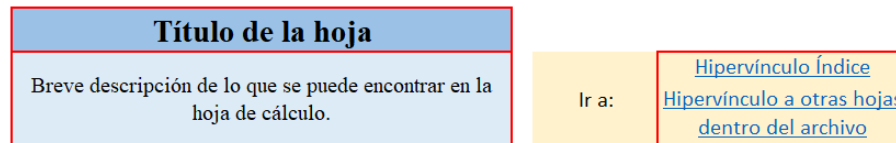


Figura 3.6: Reseña e hipervínculos de cada hoja.

3.1.5. Calcular emisiones

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para estimar las emisiones se utilizó la planilla ya mencionada para la realización de los cálculos. El Anexo B presenta la memoria de cálculo asociada a los Alcances 1, 2 y 3 y el detalle se puede encontrar en el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*. La Figura 3.7 y la Tabla 4.3 presentan el resumen de las emisiones asociadas a los 6 GEI controlados por el Protocolo de Kioto para la FCFM durante el año 2019. El Anexo C cuenta con el desglose de cada GEI emitido.

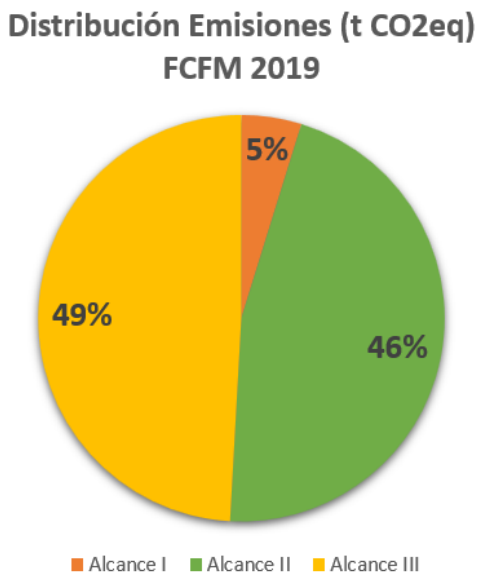


Figura 3.7: Resumen distribución de emisiones de GEI controlados por el Protocolo de Kioto para la FCFM, 2019.

Tabla 3.4: Resumen emisiones gases controlados por el protocolo de Kioto FCFM 2019.

Alcance	Ítem	Emisión <i>t CO_{2eq}</i>	Total <i>t CO_{2eq}</i>
	Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	377	
Alcance I	Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrónicos	0,622	481
	Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	104	
Alcance II	Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	4.639	4.639
	Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio	28	
Alcance III	Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM	94	4.943
	Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM	2.134	
	Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	2.686	
		Total t CO_{2eq}	10.063

Capítulo 4

Discusiones y Propuestas

4.1. Metodología utilizada

La metodología utilizada se elaboró siguiendo los lineamientos sugeridos por el GHG Protocol. Como ya se mencionó, esta herramienta corresponde a una de las bases de las distintas metodologías que existen hoy en día. Es por eso que en cuanto a la información que se requiere para llevar a cabo el cálculo no se encontrarán mayores diferencias si se compara con otras propuestas. Junto a lo anterior, los factores de emisión utilizados fueron los disponibles en la base de datos del programa Huella Chile [50], con salvedad del FE utilizado en el Alcance 2 [52] y otros casos puntuales que fueron obtenidos desde la base de datos del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales de Gran Bretaña [51].

La alternativa metodológica utilizada consiste en un plan de 5 etapas generales y necesarias para cualquier propuesta. Sin embargo, la manera en la que se obtienen los distintos datos y el manejo que se les da a estos será singular para cada institución u organización que quiera cuantificar sus emisiones. Justamente es ahí en donde se cree puede existir un mayor aporte.

Se logró establecer un formato para ordenar y manejar la información disponible. En un comienzo la idea consistía en presentar un archivo al que sólo hubiese que ingresar la información disponible para que el cálculo se llevase a cabo automáticamente, buscando de esa forma disminuir al máximo la necesidad de intervención humana. No obstante, tras las primeras semanas de trabajo se comprobó que la particularidad de la información con la que puede o no contar cada una de las instituciones de educación superior dificultó la posibilidad de automatizar el proceso. Es por lo anterior que la herramienta ocupada para la confección del inventario de la FCFM se encuentra personalizada para este caso singular.

Sin perjuicio de lo anterior, se estableció el objetivo de entregar un documento lo más completo y autocontenido posible, buscando que toda la información que se requiera para el entendimiento de los cálculos se encuentre en el mismo archivo. El documento cuenta con 6 grandes secciones y está diseñado para que la navegación a través de él sea lo más amigable para el usuario posible. Si bien la idea de automatizar el archivo no prosperó lo

suficiente como para ser puesta a prueba, a priori, se cree que puede existir un *trade off* entre el nivel interacción humana requerida y la capacidad de entendimiento que pueda presentar el archivo. Bajo esta herramienta se espera que el lector pueda comprender a cabalidad las operaciones realizadas para la confección del inventario de gases de efecto invernadero FCFM 2019 (ver archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*).

El cálculo de la distancia utilizada para estimar las emisiones correspondientes al Alcance A3.3 (emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os realizados en representación de la FCFM) utilizando los códigos presentes en el Anexo D constituye un avance metodológico con respecto a la obtención de la misma información en el cálculo del año 2018.

Una de las principales dificultades que presenta el uso de esta herramienta es que las funciones “newDirectionFinder” y “newGeocoder” presentes en los códigos utilizados (ver Anexos D.1 y D.2) cuentan con un límite de 2000 llamadas por día para una cuenta básica de *Google*. Según lo experimentado, las funciones permiten procesar cerca de 600 parejas *Ciudad de Origen, Ciudad de Destino* antes de presentar errores y tener que esperar 24 horas para volver a ocuparlas. Pese a esto, si el tratamiento de datos se realiza de manera periódica no debiesen haber mayores problemas.

Herramientas como la que ofrece Huella Chile solicitan a quien ingresa al programa y desea estimar sus emisiones asociadas a viajes de negocios, la distancia total recorrida en los distintos medios de transporte, o bien, ingresar el origen y el destino de cada viaje uno por uno a su plataforma online [53]. En el caso de la metodología propuesta basta con ingresar los datos a una hoja de cálculo de *Google* y aplicar las funciones designadas para obtener la información. Esto repercute de manera directa en un menor esfuerzo para quien realice la tarea de contabilizar las emisiones.

Con respecto al Alcance A3.4 (Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM) destaca la aplicación de la encuesta Origen-Destino (Anexo E) cuyos resultados permiten ocupar de manera directa la función presentada en el Anexo D.3. Al contrastar esta alternativa con lo realizado el año 2018 el avance es considerable.

En el caso de querer calcular las emisiones asociadas al traslado de la comunidad, Huella Chile solicita que las instituciones adscritas apliquen una encuesta similar a la presentada en su “manual de usuario del registro de emisiones y transferencia de contaminantes” (ver Anexo G). En ella el usuario tendrá dos opciones, (1) completar las distancias asociadas a su viaje para los distintos medios de transporte de manera directa o bien, (2) indicar la comuna en la que reside y qué medios de transporte utiliza con mayor frecuencia. La primera opción si bien repercute en resultados más precisos, releva la responsabilidad de calcular las distancias al usuario, lo que se traduce en mayores tiempos para contestar la encuesta.

La plataforma *Google Maps* solo entrega de manera automática las distancias para caminata o vehículo particular, en caso de que se requiera calcular la ruta en otros medios de transporte, cada encuestada/o deberá utilizar la herramienta “Medir distancia” de la aplicación web. Dado que esto podría conllevar un mayor tiempo para responder o incluso

dificultad para utilizar la herramienta por parte del usuario, es de esperarse que las personas se inclinen por la segunda opción. En este caso, responder la encuesta no requerirá de mayor esfuerzo pero el sesgo en los resultados será mayor. Solicitar tan solo la comuna de residencia, determina poca precisión en el punto de origen. Tampoco queda claro cual será el criterio para determinar dicha ubicación. A modo de ejemplo, se estima la distancia en *Google Maps* considerando transporte en automóvil (ruta óptima) para cuatro ubicaciones con distinto nivel de precisión (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Ejemplo distancia entre ubicaciones (*Google Maps*) al variar la precisión de la información entregada.

Origen	Destino	Distancia <i>km</i>	Error
Pudahuel	Beuchef 851, Santiago	10,6	44 %
Ciudad de los Valles, Pudahuel	Beuchef 851, Santiago	19,0	
La Cisterna	Beuchef 851, Santiago	10,1	20 %
Estadio Municipal, La Cisterna	Beuchef 851, Santiago	8,4	

La diferencia es de casi el doble al entregar una ubicación más precisa cuando se trata de una comuna grande como Pudahuel. No obstante al tratarse de comunas más pequeñas, como el caso de La Cisterna, el error es considerablemente menor. Utilizando la información recopilada en la encuesta Origen-Destino aplicada a la comunidad universitaria de la FCFM, se calculó la distancia total recorrida para viajes en automóvil utilizando la función creada (Anexo D.3), pero esta vez, sólo se consideró como origen la comuna de residencia.

La Tabla 4.2 presenta los resultados correspondientes a la suma total de las distancias recopiladas por la función *GOOGLEMAPS_DISTANCIAS* para el caso de transporte en automóvil (precisión alta vs precisión baja). Cabe destacar que la distancia que se expone corresponde a la distancia total considerando sólo las respuestas de la muestra encuestada y no a los resultados luego de aplicar factores de expansión.

Tabla 4.2: Comparación al utilizar la función creada para determinar distancias de viaje en automóvil al considerar distintos niveles de precisión en dirección de origen.

Suma total distancia precisión alta <i>km</i>	Suma total distancia precisión baja <i>km</i>	Error
7.176	7.472	4 %

Tal como se aprecia, el error es considerablemente bajo. De hecho, al realizar el mismo ejercicio para los distintos medios de transporte y utilizar las distancias obtenidas para estimar la huella de carbono correspondiente al transporte de la comunidad se consigue una emisión de $2.808 t CO_{2eq}$ en el ítem, lo que representa un 5 % de error con respecto al resultado presentado utilizando ubicaciones más precisas. En base a lo anterior es de esperarse que la precisión de los resultados dependa netamente de las comunas que se vean representadas en la muestra.

Además de la ambigüedad ya descrita en la metodología propuesta por Huella Chile, el hecho de tan solo seleccionar los medios de transporte que se utilizan generalmente, sin otorgar ningún nivel de prioridad, provoca un sesgo importante al momento de calcular la distancia total recorrida en cada tipo de movilización.

La encuesta Origen-Destino confeccionada busca reducir la incertidumbre con respecto a las distancias totales recorridas en cada tipo de movilización pero sin dejar de lado la independencia del usuario con respecto a esta estimación. Si bien, el objetivo de ambas encuestas es el mismo, la propuesta permite al usuario escoger de qué forma prefiere entregar su ubicación (calle exacta o punto de referencia) y asignar un porcentaje de uso a cada uno de las formas de transporte escogidas.

Las preguntas que buscaban cumplir el objetivo recién mencionado (Figuras E.16 y E.20) daban al usuario la opción de asignar la preponderancia de cada medio de transporte en su viaje, indicando que la suma total de las opciones escogidas debiese ser igual a 100 %. Frente a esta instrucción, aproximadamente el 10 % de las respuestas se encontraron fuera del valor total solicitado (sumas totales distintas a 100 %) y por lo tanto, se debieron modificar manualmente. El criterio para corregir dichos casos fue el siguiente.

- Si el usuario seleccionó sólo un medio de transporte: se cambió el valor porcentual ingresado a un 100 %.
- Si el usuario seleccionó dos medios de transporte:
 - Si es que uno de los dos medios de transporte fue asignado con un mayor porcentaje que el otro, los valores asignados se reajustaron a un 75 % y 25 %.
 - Si ambos medios contaban con el mismo valor, a las dos opciones se les asignó un 50 %.
- Si el usuario seleccionó 3 medios de transporte:
 - Si es que a las 3 opciones se les asignaron valores distintos, se escogieron las dos con mayor porcentaje y se modificó a un 75 % y 25 % de uso respectivamente.
 - Si una opción presentaba un mayor porcentaje y otras dos un valor menor e igual, la primera alternativa se reasignó con un 50 % y las restantes con un 25 % cada una.
 - Si habían dos opciones con un valor mayor e igual y otra con menor porcentaje, la última alternativa fue descartada y las restantes fueron reasignadas con un 50 %.
- Si el usuario seleccionó 4 medios de transporte o más: se escogieron los 4 medios de transporte con FE mayores y se asignó un 25 % de uso a cada uno.

En relación al rango porcentual definido (25 %) para la asignación de la relevancia de cada tipo de movilización, se buscó un valor que permitiese dar holgura al usuario pero sin generar grandes complicaciones al momento de distribuir el 100 % requerido. En base a esto y algunas recomendaciones recibidas en la sección de comentarios de la encuesta, la propuesta definitiva debe replantear las preguntas asociadas a este aspecto.

Cabe mencionar que la encuesta fue revisada por parte de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, dirección académica de la FCFM, profesionales del área de diseño industrial, profesionales del área de ingeniería química y biotecnología y estudiantes de la FCFM antes de ser publicada. Aún así, un detalle que no fue considerado y que se evidenció gracias a los comentarios de las y los encuestados corresponde a que algunas personas, por diversos motivos, no viajan a su destino desde el mismo origen todos los días. Frente a esto se propone la idea de consultar por los hábitos de transporte para cada día de la semana por separado.

En base a los comentarios realizados en este apartado, se espera que la siguiente iteración de la encuesta mejore en cuanto a nivel de entendimiento por parte de los usuarios y a la vez, entregue resultados más fiables a la hora de estimar las emisiones de este alcance.

4.2. Resultados numéricos huella de carbono FCFM 2019

Ocupando la metodología expuesta y realizando los cálculos que se presentan en el Anexo B se obtuvo una emisión total para el año 2019 de $10.063 t CO_{2eq}$ considerando los 6 GEI establecidos en el protocolo de Kioto y $10.122 t CO_{2eq}$ al sumar las emisiones de hidroclorofluorocarburos.

Los resultados recién expuestos son considerablemente menores a la huella conseguida el año 2018, cuyo valor fue cercano a las $14.000 t CO_{2eq}$. Esta diferencia, tal como se adelantó en la introducción de este documento, era de esperarse y se debe principalmente a la forma en la que se estimó la huella asociada al transporte de la comunidad universitaria. Este ítem representa cerca de $7.500 t CO_{2eq}$ en contraste con las 2.687 toneladas de la huella 2019. El presente cálculo es más preciso, pues considera no solo la caracterización del transporte de la comunidad universitaria sino que también toma en cuenta distancias más precisas al momento de realizar el cálculo.

La diferencia recién mencionada podría justificarse bajo el hecho de que desde el 18 de octubre del 2019 el año académico se vio alterado por el “Estallido Social”. Para verificar la relación de esto con los resultados obtenidos se estimó la huella teórica del traslado de la comunidad asumiendo la inexistencia del evento mencionado (ver archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*). El resultado fue de $2.748 t CO_{2eq}$ emitidas teóricamente, valor tan solo un 2 % mayor que el obtenido inicialmente.

Al comparar las emisiones asociadas a viajes de académicos, en el caso de la huella 2018, el valor es cercano a un 57 % de su simil para el año 2019. Esto también se puede deber a un asunto metodológico, no obstante la cantidad de los viajes realizados y el destino de aquellos repercute de manera directa en la magnitud final obtenida, por lo tanto, es difícil establecer una relación clara entre las metodologías usadas y los valores de emisión alcanzados.

El otro gran cambio se asocia a las emisiones relacionadas al transporte y disposición de residuos. En el caso de la huella 2019 se utilizaron factores de emisión, en cambio la huella anterior se estimó basándose en el IPCC Waste Model [54], una herramienta que considera factores tales como tipos de suelo para deposición de residuos o factores climáticos puntuales de la región considerada dentro del análisis. Por último, cabe destacar que el cálculo actual considera dos fuentes emisoras nuevas, el consumo de combustible en grupos electrógenos y el consumo de agua.

Para el cálculo de las emisiones de cada alcance y sus respectivas categorías se tomaron distintos supuestos que pudieron haber alejado el resultado de los valores reales. Para compensar esto, en situaciones de incertidumbre en cuanto a qué cifras utilizar, se consideraron los valores que maximizaran las emisiones, para de esa forma, sobrestimar la huella. Pese a lo anterior, resulta importante mencionar los supuestos más importantes considerados en cada uno de los casos.

Para el Alcance 1, la mayor cantidad de emisiones se asocia a la fuga de refrigerantes con $426 t CO_{2eq}$ de las cuales cerca de $377 t CO_{2eq}$ provienen de gases regulados por el protocolo de Kioto. Para este cálculo se asumió que la cantidad de refrigerante adquirida

por la institución es equivalente a la cantidad de refrigerante que se fuga año a año desde los equipos de refrigeración. Lo anterior ignora la posibilidad de que parte del refrigerante adquirido sea almacenado como reserva. Una mejor aproximación de este cálculo podría obtenerse al evaluar *in situ* la eficiencia de los equipos de refrigeración y realizar los balances de masa correspondientes. Junto a lo anterior y buscando una mejor precisión de los cálculos, se debe constatar si los refrigerantes R410 y R407 corresponden a tipo A o B.

En relación a las emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos, el principal supuesto corresponde a asumir la ausencia de un equipo de abatimiento capaz de evitar que el producto de combustión o parte de él sea liberado a la atmósfera. El otro gran aporte a las emisiones de este alcance se relaciona al consumo de combustible en vehículos. En este caso, el principal punto a considerar para futuras estimaciones corresponde al tipo de vehículos considerados ya que en esta iteración se ocuparon los factores de emisión genéricos para fuentes móviles declarados en bibliografía.

Las emisiones producto del consumo de energía eléctrica consideran sólo las instalaciones pertenecientes al límite organizacional. Esto representa el 93% de las emisiones totales de todas las dependencias asociadas a la facultad (para mayor detalle visitar el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*).

Para el Alcance 3 y el transporte y disposición de residuos, los principales sesgos en el resultado se relacionan a los FE utilizados, ya que tal como se señala en la bibliografía utilizada, su incertidumbre es alta. En cuanto al consumo de agua y sus emisiones, resalta el hecho de que no se considera toda la infraestructura definida en el límite organizacional. Lo anterior se debe a que no fue posible obtener el consumo de todas las dependencias. Para futuros cálculos, se debe procurar que el límite organizacional se vea representado en todos los cálculos.

La segunda categoría del alcance con mayor magnitud en sus emisiones corresponde a la relacionada con los viajes de académicas/os y funcionarias/os realizados en representación de la FCFM. Como ya se ha mencionado, para este cálculo se estimó la ruta óptima por vía terrestre para los viajes realizados en vehículo particular o bus y la distancia en “línea recta” para estimar los viajes en avión. Pese a que lo anterior puede conllevar errores asociados a las verdaderas distancias que recorre cada individuo en los distintos medios de transporte pues no se conoce la ruta exacta, se cree que la información obtenida corresponde a una buena aproximación. Por otro lado, los límites establecidos para definir en qué medio de transporte se realizó cada viaje pueden repercutir en diferencias considerables con respecto a la realidad. Cabe mencionar que en el archivo *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm* entregado a la OIS, el rango de los límites se puede cambiar según quien realiza el cálculo lo estime conveniente. El sesgo entre los resultados y las distancias reales recorridas en cada uno de estos medios de transporte se puede corregir si desde ahora se solicita que quien declare el viaje realizado, especifique el medio de transporte utilizado.

Finalmente, con respecto a las emisiones asociadas al transporte de la comunidad las simplificaciones son variadas y pueden verse con mayor detalle en los Anexos B.3.4 y F. En relación a la distancias recorridas en cada medio de transporte, al no poder diferenciarse entre viajes realizados en Metro/Tren y Micro/Bus se ocupa de manera indiferente la ruta

óptima entregada por la función *GOOGLEMAPS_DISTANCIAS* al seleccionar “Transporte público”. Además de lo anterior, el uso de factores de expansión para estimar las emisiones globales de la comunidad universitaria asume que la muestra encuestada representa de buena forma el total. Tal como se analiza en el Anexo F, para ciertos estamentos, el tamaño de la población conlleva errores cercanos al 15 %. Esto último se puede solucionar aumentando el tamaño muestral.

Con el objetivo de comprobar la robustez de la metodología aplicada frente a variaciones en los datos utilizados se realiza un análisis de sensibilidad. La Tabla 4.3 presenta este análisis para cada una de las fuentes emisoras consideradas y su respectivo error marginal. Cabe destacar que el error presentado se asocia a la variación observada en la magnitud total de las emisiones de la institución.

Tabla 4.3: Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones.

Ítem	Descripción de la variación	Error marginal
Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	$\pm 10\%$ en la cantidad total de refrigerante (<i>kg</i>) adquirido	0,42 %
Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrónicos	$\pm 10\%$ en la cantidad total de combustible (m^3) adquirido	<0,01 %
Emisiones asociadas al consumo de combustible en vehículos	$\pm 10\%$ en la cantidad total de combustible (m^3) adquirido	0,10 %
Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	$\pm 10\%$ en la cantidad total de energía (<i>MWh</i>) consumida	4,59 %
Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio	$\pm 10\%$ en la cantidad total de residuos (<i>t</i>) producidos	0,03 %
Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM	$\pm 10\%$ en la cantidad total de agua (m^3) consumida	0,09 %
Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM	$\pm 10\%$ en la distancia total recorrida (<i>km</i>) en cada medio de transporte	2,11 %
	$\pm 10\%$ en los intervalos establecidos para definir el medio de transporte	0,02 %
Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	$\pm 10\%$ en la distancia total recorrida (<i>km</i>) en cada medio de transporte	2,66 %

Los errores obtenidos en cada ítem son directamente proporcionales al peso de cada fuente emisora con respecto al valor total. El máximo error marginal se asocia al Alcance 2 con menos de un 5%. Pese a que el error es bajo, hay que tener en consideración que el análisis no es acumulativo y por lo tanto, frente a variaciones en más de un ítem la diferencia debiese crecer.

Al observar la Figura 3.7 es posible notar que cerca del 95% de las emisiones totales del año 2019 se ven reflejadas por los Alcances 2 y 3 con un 46% y un 49% respectivamente. Esto invita a buscar focos de reducción que apunten principalmente a dichas categorías.

Con respecto al Alcance 2, según la información que se ha podido rescatar, la FCFM ya ha invertido recursos para disminuir su consumo eléctrico en cuanto a lo que luminaria y eficiencia de equipos en sus principales dependencias se refiere. Resulta necesario realizar un estudio más exhaustivo de las iniciativas que se han llevado a cabo para reducir las emisiones asociadas a este ítem para identificar las verdaderas opciones de reducción.

Frente a lo anterior, parece ser que el punto con mayor holgura para generar una disminución de emisiones corresponde al Alcance 3. En él, cerca del 97% se divide entre las emisiones producto de viajes nacionales e internacionales (43%) y el transporte de la comunidad universitaria (54%). Este último ítem resulta de principal interés pues su disminución depende netamente de los hábitos que adquiera la comunidad universitaria al momento de transportarse.

Se desarrolló y aplicó una encuesta orientada a la determinación de las barreras de transporte a las que se ven enfrentadas/os quienes viajan hacia la FCFM y la identificación del efecto tendría la inexistencia de cada uno de esos obstáculos. La encuesta se puede encontrar en el Anexo H y los resultados de su aplicación se presentan en el Anexo H.2.

Dentro de las principales conclusiones que se pueden extraer de la herramienta están las siguientes:

- **Con respecto al uso de la bicicleta:** la inexistencia por si sola de cada una de las barreras presentadas tendría un efecto positivo en el aumento del uso de este medio de transporte por parte de la comunidad. Lo anterior aplica tanto para quienes nunca ocupan bicicleta en su traslado hacia la facultad como para quienes la utilizan parcialmente, tal como se presenta en la Figura 4.1.

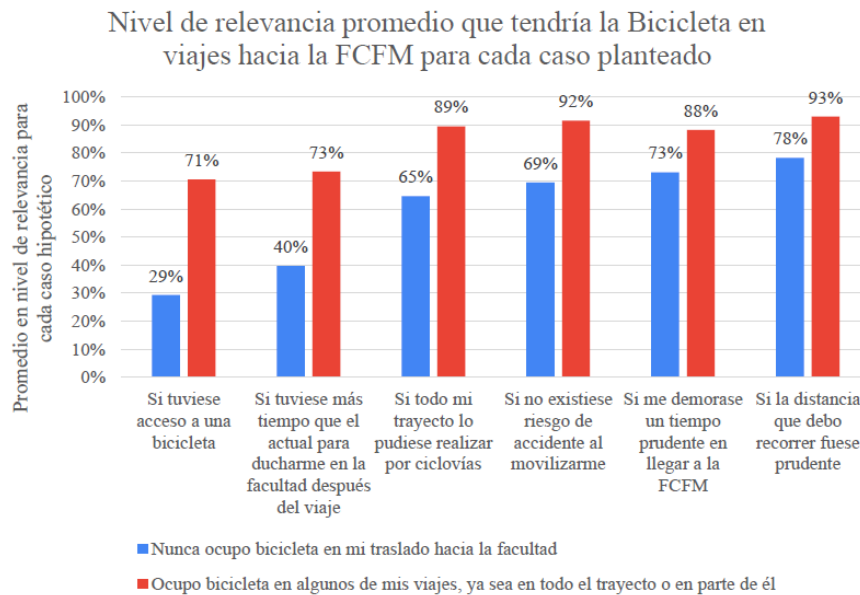


Figura 4.1: Nivel de relevancia promedio que tendría la bicicleta en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios.

Cabe destacar que frente a la posibilidad de las/los encuestados de indicar otras barreras que tendrían un efecto positivo en el uso de bicicleta destacan las frases: “Si hubieran más ciclistas en la facultad” (16 veces mencionada) y “Si no llevase tantas cosas de valor” (8 veces mencionada). Para esos casos, se obtuvo un nivel de relevancia teórico promedio en el uso de bicicleta del 73 % y 78 % respectivamente.

Los resultados anteriores contrastan de manera considerable frente a los presentados en el Anexo E.1, en donde el uso promedio de bicicleta no supera el 15 % dentro de la comunidad universitaria. Pese a la diferencia de tamaño entre ambas muestras encuestadas, es posible inferir que frente a la inexistencia de las barreras presentadas habría una tendencia hacia el mayor uso de este medio de transporte al momento de desplazarse hacia la facultad.

- **Con respecto al uso de transporte público:** si bien los porcentajes conseguidos para este medio de transporte son en promedio menores que los obtenidos para el caso de la bicicleta, bajo todas situaciones se aprecian altos valores relevancia hipotética, tanto para quienes nunca ocupan transporte público como para quienes lo hacen parcialmente.

En particular, las Figuras 4.2 y 4.3 buscan evidenciar el efecto que tendría una mayor seguridad y comodidad al momento de utilizar el transporte público en la población de mujeres.

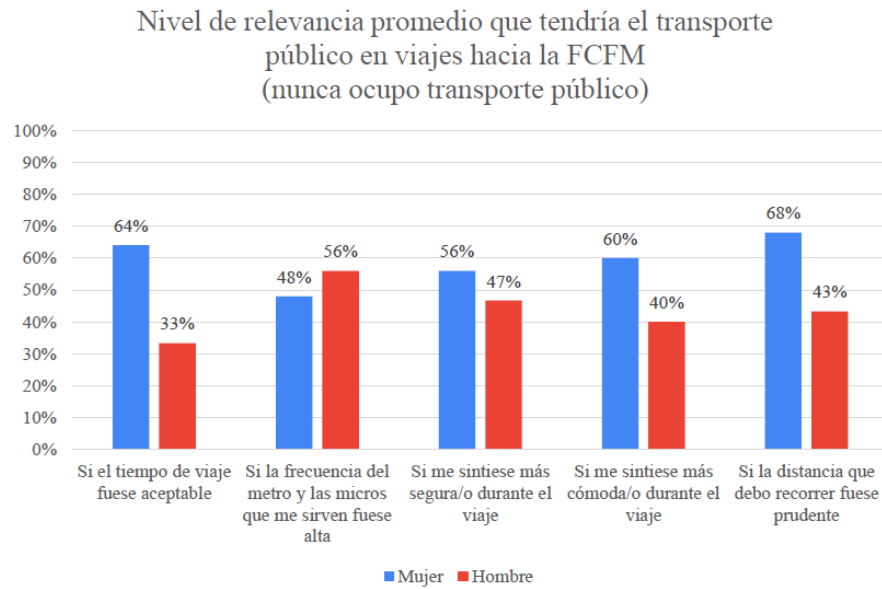


Figura 4.2: Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios para quienes nunca ocupan este medio de transporte.

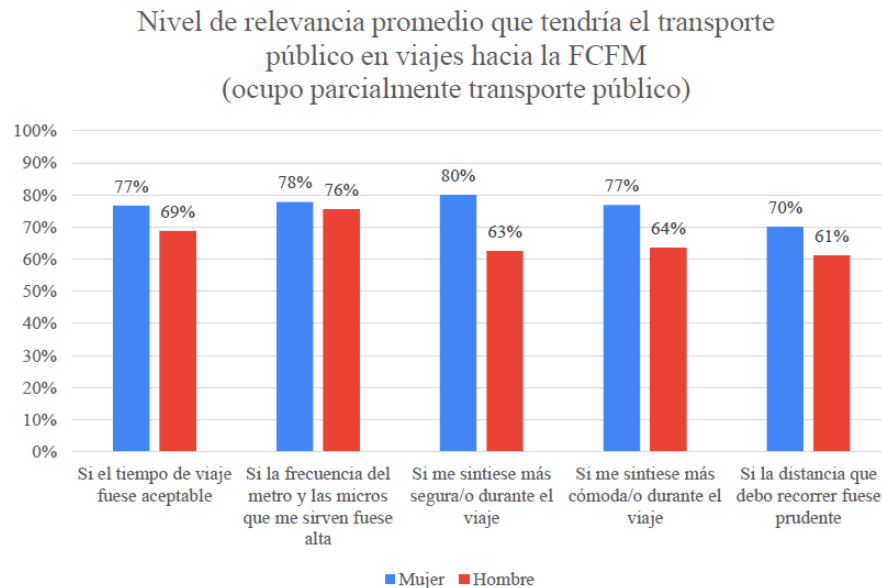


Figura 4.3: Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público en los viajes hacia la FCFM frente a distintos escenarios para quienes nunca ocupan parcialmente este medio de transporte.

Lo niveles hipotéticos de uso de transporte público contrastan con respecto a los valores obtenidos en la encuesta Origen-Destino (Anexo E.1). En este caso se evidencia un importante aumento en la relevancia que tendría este medio de transporte en la población de mujeres al no existir las barreras asociadas a seguridad y comodidad en el viaje, obteniéndose valores de aproximadamente 60 % y 80 % en quienes no ocupan

transporte público y quienes si lo hacen respectivamente. Esto difiere en relación al cerca de 55 % de presencia de transporte público que caracteriza el traslado de la población de mujeres durante el año 2019.

- **Con respecto a compartir automóvil al momento de transportarse hacia la FCFM:** dado que el tamaño de la muestra encuestada que cuenta con vehículo propio es bajo, resulta difícil establecer conclusiones precisas con respecto a las barreras existentes para compartir automóvil. De todas formas, el resultado de la pregunta asociada a este punto (ver Figura H.15) parece indicar que todas las opciones listadas son importantes para quien busca compartir vehículo en sus viajes.

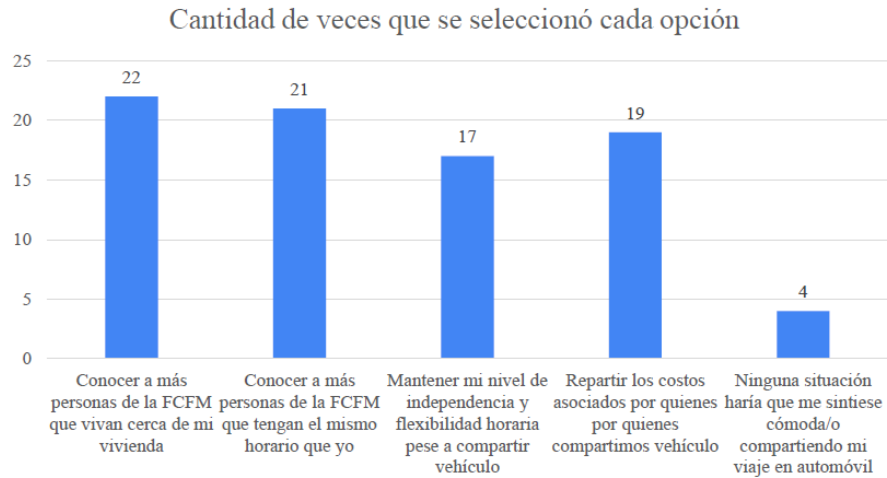


Figura 4.4: Condiciones que los usuarios consideraron necesarias para compartir automóvil (26 personas contestaron la pregunta).

4.3. Nueva propuesta metodológica

A partir del análisis presentado y la experiencia adquirida se propone replantear la metodología propuesta, recuperando los puntos positivos de la primera iteración e intentando solucionar los problemas observados.

La base de la nueva propuesta sigue siendo el GHG Protocol y los factores de emisión provistos por Huella Chile. A diferencia de la metodología ya utilizada, esta versión se confecciona buscando su aplicabilidad en cualquier institución de educación superior. A continuación se presentan las cuatro etapas generales de esta alternativa.

4.3.1. Definir límites organizacionales y operacionales

El usuario deberá establecer los límites organizacionales y operacionales del inventario de GEI que confeccionará para su institución. Dichos límites deberán ser fijados en conjunto con las autoridades que responderán por las emisiones obtenidas.

Se recomienda que los límites operacionales abarquen los 3 alcances de emisión, considerando como mínimo las emisiones asociadas a:

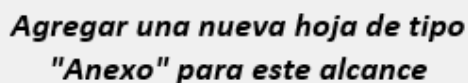
- Fuga de refrigerantes.
- Consumo de energía eléctrica en las dependencias que forman parte del límite organizacional.
- Viajes de funcionarias/os realizados en representación de la institución.
- Traslado de la comunidad desde y hacia las dependencias abarcadas dentro del límite organizacional.

4.3.2. Familiarización con la herramienta de cálculo

Los cálculos efectuados se llevarán a cabo en el programa *Excel*. La propuesta metodológica presenta una planilla de libre acceso que podrá ser descargada por los usuarios (ver archivo adjunto *Planilla base para cálculo Huella de Carbono.xlsm*). El archivo cuenta con las hojas que se presentan a continuación.

1. **Introducción e Índice:** tal como en la propuesta original, la primera hoja del archivo corresponde a la introducción y al flujo recomendado de revisión de este.
2. **Resumen de emisiones:** esta hoja corresponde a la síntesis de los resultados. El usuario deberá completar esta pestaña con los valores obtenidos en las hojas de tipo "Alcance" según corresponda. Esta sección cuenta con: (1) Resumen de la hoja, (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice o a cada uno de los alcances de emisión y (3) Tabla con el resumen de las emisiones.
3. **Alcances:** acá se exhibe el desglose de las operaciones realizadas para llegar a los valores de emisión que se presentan en la hoja resumen. Además, este tipo de hoja cuenta con secciones para rellenar con: (1) Resumen de la hoja, (2) Hipervínculos para trasladar al

lector al índice, a las otras hojas de alcance o los anexos correspondientes al alcance que se está revisando, (3) Valor de las emisiones totales asociadas al alcance (4) Hipervínculo con las emisiones consideradas dentro del alcance, (5) Resumen de metodología utilizada para cada cálculo de las emisiones consideradas, supuestos utilizados y tabla resumen del cálculo y (6) Botón para la creación de hojas de tipo “Anexo”. El formato es similar al presentado en la sección 3.1.4, el principal cambio es la inclusión del punto (6), tal como se presenta en la Figura 4.5.



**Agregar una nueva hoja de tipo
"Anexo" para este alcance**

Figura 4.5: Botón para agregar hojas de tipo “Anexo” en archivo descargable.

4. **Anexos:** la utilización de estas hojas dependerá netamente de las necesidades del usuario. Pese a que carecen de una función específica, se recomienda que la información contenida haga referencia a los datos con los que se cuenta para realizar los cálculos. En caso requerir hojas de este tipo, el usuario puede presionar el botón mencionado en el punto anterior de las respectivas hojas de “Alcance”. La base de estas hojas cuenta con secciones para completar con: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice o a la hoja de alcance correspondiente.
5. **Información requerida:** esta hoja corresponde al resumen de la metodología propuesta. En ella se presenta la ecuación en torno a la cuál se desarrollan los cálculos y la información que se requiere para estimar la huella de carbono proveniente de las principales fuentes emisoras. Además, se entrega el resumen de la Sección 4.3.3, presentada a continuación. Junto a lo anterior, esta hoja contiene: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculo para trasladar al lector al índice.
6. **Factores de emisión:** el archivo presenta una pestaña que cuenta con la base de datos de factores de emisión completa del programa Huella Chile. Además, esta hoja incluye con secciones para completar con: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculo para trasladar al lector al índice.
7. **Referencias:** corresponde a las fuentes de información utilizadas a lo largo del archivo, por ejemplo, fuentes de FE que se encuentran fuera de la base de datos adjunta. Esta hoja cuenta con secciones para rellenar con: (1) Resumen de la hoja y (2) Hipervínculos para trasladar al lector al índice y a las distintas hojas de alcance.

4.3.3. Compilar la información disponible

Tomando en cuenta que no siempre se podrá contar con la misma información, esta propuesta plantea 2 niveles de profundización. Cada nivel otorgará un grado distinto de precisión en el cálculo dependiendo de la información disponible.

Para calcular el error marginal entre ambos niveles se utiliza como base la planilla adjunta

Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm. El manejo de datos realizado para establecer cada nivel se describe en el Anexo I. Cabe mencionar que si el usuario cuenta con menor información a la sugerida por la metodología, esta podrá ser utilizada pero no se podrá asociar a un error marginal puntual.

A continuación se resume la información que solicita la metodología para cada ítem de emisión.

Alcance 1

1. Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes adquiridos por la institución.
 - Información mínima: cantidad total de refrigerante adquirido por la institución, sin distinción del tipo de este.
 - Información sugerida: cantidad total y tipo de cada refrigerante adquirido por la institución.
2. Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos.
 - Información mínima: tipo y monto facturado en la cantidad total de combustible adquirido por la institución para combustión en grupos electrógenos.
 - Información sugerida: volumen total y tipo de combustible adquirido por la institución para combustión en grupos electrógenos.
3. Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos pertenecientes a la institución.
 - Información mínima: montos facturados mensualmente en combustible para consumo en vehículos.
 - Información sugerida: montos facturados mensualmente en cada tipo de combustible para consumo en vehículos.

La Tabla 4.4 presenta el supuesto que se debe tomar en el caso de que se cuente con la información mínima. Además, se presentan los errores marginales obtenidos con respecto al cálculo utilizando la información sugerida. Los errores mencionados corresponden al asociado al ítem en particular y al vinculado a las emisiones totales.

Tabla 4.4: Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 1.

Ítem	Supuesto considerado en condición mínima	Error marginal (ítem)	Error marginal (total)
Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	Asumir el mayor FE presentado para refrigerantes (R404A)	91,6 %	3,9 %
Emisiones asociadas al consumo de combustibles en grupos electrógenos	Asumir precio mínimo del combustible para estimar volumen adquirido	21,8 %	<0,01 %
Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	Asumir que todo el combustible adquirido es diesel y estimar el consumo a partir de él	37,5 %	0,4 %

Alcance 2

Las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica requieren de la siguiente información.

- Información mínima: energía consumida anualmente por las instalaciones presentes en el límite organizacional.
- Información sugerida: energía consumida mensualmente por las instalaciones presentes en el límite organizacional.

La Tabla 4.5 presenta el supuesto que se debe tomar en el caso de que se cuente con la información mínima. Además, se presentan los errores marginales obtenidos con respecto al cálculo utilizando la información sugerida. Los errores mencionados corresponden al asociado al ítem en particular y al vinculado a las emisiones totales.

Tabla 4.5: Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 2.

Ítem	Supuesto considerado en condición mínima	Error marginal (ítem)	Error marginal (total)
Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la institución	Utilizar FE promedio del año de estudio	0,2 %	0,1 %

Alcance 3

1. Emisiones asociadas al transporte de residuos a relleno sanitario o centro de acopio.
 - Información mínima: cantidad total estimada de residuos producidos por la institución. Además, distancia total recorrida hasta relleno sanitario.
 - Información sugerida: cantidad estimada y clasificación de residuos destinados a relleno sanitario o a centro de acopio. Además, distancia total recorrida hasta relleno sanitario o centro de acopio.
2. Emisiones asociadas a la disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio.
 - Información mínima: cantidad total estimada de residuos producidos por la institución.
 - Información sugerida: cantidad estimada y clasificación de residuos destinados a relleno sanitario o a centro de acopio.
3. Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la institución.
 - Información mínima: conocer el consumo de agua de las principales instalaciones abarcadas dentro del límite organizacional. Para este ítem no se considera otro nivel de información solicitada.

4. Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la institución.
 - Información mínima: origen y destino de todos los viajes realizados.
 - Información sugerida: origen, destino y tipo de transporte de todos los viajes realizados.

5. Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la institución.
 - Información mínima: comuna de origen y caracterización del transporte de las/los encuestados.
 - Información sugerida: dirección exacta o punto de referencia de origen y caracterización del transporte de las/los encuestados.

Para recopilar la información asociada a las distancias de los miembros de la comunidad universitaria se ha confeccionado una nueva encuesta Origen-Destino. La encuesta se encuentra disponible en el Anexo J. Se sugiere que quienes constituyen la comunidad universitaria la respondan de manera obligatoria.

La Tabla 4.6 presenta el supuesto que se debe tomar en el caso de que se cuente con la información mínima. Además, se presentan los errores marginales obtenidos con respecto al cálculo utilizando la información sugerida. Los errores mencionados corresponden al asociado al ítem en particular y al vinculado a las emisiones totales.

Tabla 4.6: Análisis de sensibilidad, cálculo de emisiones Alcance 3.

Ítem	Supuesto considerado en condición mínima	Error marginal (ítem)	Error marginal (total)
Emisiones asociadas al transporte de residuos a relleno sanitario o centro de acopio	Asumir que todos los residuos tienen como destino final el relleno sanitario	14,7 %	<0,01 %
Emisiones asociadas a la disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio	Asumir que todos los residuos tienen como destino final el relleno sanitario. Utilizar FE genérico para residuos	24,6 %	0,1 %
Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la institución	Asumir límites en distancia para determinar los tipos de transportes considerados	4,3 %	0,9 %
Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la institución	Asumir comuna como origen de cada encuestada/o	4,6 %	1,3 %

4.3.4. Realizar cálculos

Ya sea con la información mínima recomendada o con la sugerida, el usuario se encontrará capacitado para realizar el inventario de GEI de su institución.

4.3.5. Vídeos tutoriales

Para facilitar la aplicación de la metodología se encuentran en desarrollo una serie de vídeos tutoriales que buscan explicar las principales aristas de la propuesta. El usuario podrá consultar estos vídeos para guiar el cálculo de la huella de carbono de su institución.

Las temáticas que se espera abordar en cada tutorial son las siguientes:

1. Introducción a la metodología y conceptos generales.
2. Herramienta de cálculo y explicación de los niveles de precisión.
3. Ejemplo de cálculo alcances 1 y 2.
4. Ejemplo de cálculo alcance 3, emisiones asociadas a viajes realizados en representación de la institución.
5. Ejemplo de cálculo alcance 3, encuesta origen destino y emisiones asociadas al traslado de la comunidad.

El enlace hacia la lista de reproducción se encuentra disponible en el archivo de texto adjunto *Enlaces de interés.txt* (Anexo L).

4.3.6. Comentarios generales

La nueva propuesta se elaboró siguiendo como base la confección del inventario de GEI de la FCFM para el año 2019. Según la magnitud de las emisiones provenientes de dicha iteración, se recomienda considerar como mínimo los ítems:

- Fuga de refrigerantes.
- Consumo de energía eléctrica en las dependencias que forman parte del límite organizacional.
- Viajes de funcionarias/os realizados en representación de la institución.
- Traslado de la comunidad desde y hacia las dependencias abarcadas dentro del límite organizacional.

De todas formas, es importante destacar que el usuario deberá evaluar la pertinencia de integrar o no las fuentes emisoras recién mencionadas según el contexto de la entidad académica para la cual se realiza el cálculo. Se espera que cada toma de decisiones sea bien justificada y transparentada.

La planilla de libre acceso corresponde a un archivo modular para llevar a cabo el cálculo. Con esto se busca estandarizar el manejo de información y el orden que se les da a los resultados finales. Se espera que siguiendo las recomendaciones de esta propuesta cualquier persona que revise la memoria de cálculo pueda entender el procedimiento llevado a cabo.

Usando como base el caso de la FCFM, se definieron dos niveles de profundización para el cálculo de cada ítem de emisión. Para el nivel mínimo se estimó el error marginal asociado a la variación de las emisiones del ítem en sí y a la diferencia obtenida en el total de emisiones registradas en el cálculo del inventario de GEI para la FCFM 2019. El error marginal con respecto al total de emisiones depende netamente de la relevancia que tuvo cada fuente emisora en el cálculo ya realizado (FCFM 2019), por lo tanto, se recomienda utilizar como indicador el error correspondiente al ítem en particular.

Finalmente, para facilitar el entendimiento de la propuesta metodológica se ha creado una serie de vídeos tutoriales cuyo enlace de libre acceso se encuentra anexo a este documento.

4.4. Lineamientos a seguir por la FCFM

En base al análisis del trabajo realizado, a continuación se propone una serie de medidas para que la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas pueda avanzar hacia la neutralidad de carbono. Cabe mencionar que gran parte de las recomendaciones que se presentan a continuación corresponden a pasos que ayudarán a complementar el estudio llevado a cabo para, en una siguiente etapa, implementar medidas de mitigación puntuales.

Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes

En primer lugar, se sugiere un estudio más exhaustivo de este alcance buscando aclarar los siguientes puntos:

1. Identificación de equipos de abatimiento que capten las emisiones provenientes de este ítem.
2. Corroboración de los tipos de refrigerante utilizados para poder asociarlos a los factores de emisión correctos.
3. Realizar un seguimiento a la mantención de los equipos de refrigeración.
4. Corroborar si parte del refrigerante es almacenado como reserva.
5. De ser posible, realizar balances de masa periódicos en los equipos de refrigeración.

Otra acción que se recomienda estudiar con mayor detalle corresponde al uso de plantas en oficinas. Estudios muestran que su implementación podría reducir la temperatura de espacios cerrados en hasta 10°C [55]. Evaluar la factibilidad de esta medida podría generar un cambio importante en las emisiones asociadas a este alcance. Además de lo anterior y de disminuir los costos operacionales de las instalaciones, se sabe que la presencia de plantas en interiores ayuda a disminuir el estrés, mejorar la productividad y la calidad del aire [55].

Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos

Al igual que para el ítem anterior, se propone realizar un estudio más exhaustivo, con énfasis en los siguientes puntos.

1. Identificación de equipos de abatimiento que impidan o disminuyan la fuga de emisiones.
2. De ser factible, se sugiere la realización de balances de masa en los equipos utilizados para contrastar con los resultados provenientes del uso de factores de emisión.

Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos

Con respecto a este ítem, el principal cambio corresponde a la necesidad de solicitar información más precisa al momento de declarar la compra de combustibles. La información que se debe solicitar en cada carga es:

1. Tipo de vehículo al que se le carga combustible.
2. Tipo de combustible adquirido.
3. Litros cargados o monto asociado.

4. Fecha de la compra.

Se propone además realizar un seguimiento a la utilización que se le está dando a cada vehículo con la finalidad de promover, dentro de lo posible, el uso eficiente de estos. Una vez obtenida la información anterior se podrán evaluar medidas, como por ejemplo, la adquisición de vehículos menos contaminantes.

Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad

En cuanto a las emisiones asociadas a este alcance, se propone:

1. Monitorear el consumo eléctrico de cada instalación abarcada dentro del límite organizacional. De esta forma se espera obtener información que permita entender dónde y a qué hora se están generando los mayores consumos.
2. Evaluar la factibilidad de la instalación de equipos que provean energía limpia en dependencias dónde aún no se ha considerado la opción.
3. Identificar posibilidades de aprovechamiento energético dentro y entre las distintas instalaciones (integración energética). Al mismo tiempo, considerando que el consumo base de la institución es alto¹, reconocer oportunidades de eficiencia energética en los equipos utilizados.
4. Potenciar campañas departamentales asociadas al aprovechamiento de la energía dentro de las instalaciones.

Emisiones asociadas al transporte y disposición de residuos en relleno sanitario o centro de acopio

La mayor cantidad de emisiones dentro de este ítem corresponden a las que son producto de la disposición de residuos en el relleno sanitario. Para disminuir estas emisiones se propone:

1. Aumentar la capacidad de reciclaje de la FCFM.
2. Potenciar campañas de reciclaje a nivel departamental, intentando distribuir la responsabilidad de la tarea.
3. Dado que los factores de emisión disponibles en la base de datos utilizada cuentan con un alto nivel de incertidumbre, se recomienda la estimar y ocupar factores propios.

Además de lo anterior, es necesario incorporar al cálculo los residuos provenientes del resto de las dependencias que forman parte del límite organizacional.

Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM

En cuanto a las emisiones asociadas a este ítem, se recomienda:

¹Dada la contingencia bajo la cual se realizó este estudio (pandemia) ha sido posible comprobar que actualmente el consumo eléctrico ha disminuido en tan sólo un 30% con respecto a los promedios del año 2019.

1. Monitorear el consumo de agua de cada instalación abarcada dentro del límite organizacional. De esta forma se espera obtener información que permita conocer dónde y a qué hora se está generando el mayor consumo.
2. Evaluar la factibilidad de realizar integración hídrica en las distintas dependencias que forman parte del límite organizacional.
3. Potenciar campañas departamentales que busquen reducir el consumo de este recurso.

Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM

Para mejorar la precisión de las emisiones calculadas bajo este ítem, se sugiere que funcionarias/os y académicas/os declaren el tipo de transporte que utilizan entre cada origen y destino señalado.

A priori, se propone que parte del presupuesto asignado a los proyectos que requieren de viajes considere la compensación de la huella.

Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM

Para orientar las medidas a tomar por la FCFM se realizó la encuesta presentada en el Anexo H, cuyos principales resultados se encuentran en la Sección 4.2. A partir de las respuestas obtenidas se recomienda lo siguiente:

1. Con respecto al uso de bicicleta y transporte público: realizar un estudio para determinar las medidas concretas que se pueden tomar para disminuir las barreras que existen hoy en día en relación a estos tipos de movilización. En dicho estudio se debe corroborar que las acciones que se pretendan llevar a cabo sean validadas por la comunidad universitaria.
2. Con respecto a compartir automóvil: establecer una plataforma que permita a la comunidad universitaria compartir viajes en automóvil considerando las condiciones mínimas establecidas con anterioridad (Figura 4.4).

4.5. Aplicación Móvil

En términos generales, reducir emisiones de carbono requiere de un cambio de conducta y la cooperación de los distintos estamentos de la institución. Se cree que visibilizar las emisiones de la facultad puede repercutir de manera positiva en la disminución de ellas.

Es por lo anterior y en base a los resultados presentados en el Anexo H.2 que se propone la implementación de una aplicación móvil orientada a quienes pertenecen a instituciones de educación superior. A grandes rasgos esta idea permitiría:

1. Trasparentar el detalle de las emisiones de GEI de la institución.
2. Comparar las emisiones entre instituciones que utilicen la herramienta.
3. Presentar acciones puntuales para reducir emisiones asociadas a los 3 alcances.
4. Estimar de manera directa las emisiones asociadas al transporte del usuario. Al mismo tiempo, se podría llevar un registro del ellas.
5. Fomentar los viajes en automóvil compartidos entre integrantes de la institución.

La Figura 4.6 presenta la pantalla de inicio que se propone para la aplicación. El detalle de la idea se encuentra disponible en el Anexo K.



Figura 4.6: Pantalla de inicio HUELLApp.

Capítulo 5

Conclusiones

El contexto medioambiental actual se centra en el cambio climático, siendo la emisión de gases de efecto invernadero una de las principales razones del problema. Es por esto que se han firmado acuerdos internacionales que buscan frenar el calentamiento del planeta, estableciendo una reducción paulatina de las emisiones de GEI netas globales y fijando como límite el año 2050, en donde se espera que estas sean nulas. La responsabilidad del asunto recae en todas/os quienes habitan el planeta.

Bajo este marco es que el año 2019 la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile emitió una declaración pública, en donde se estableció el compromiso de alcanzar la neutralidad de carbono antes del año 2050. El primer paso para reducir las emisiones de una institución corresponde a la cuantificación de estas, lo que se conoce también como la confección de un inventario de gases de efecto invernadero (GEI). Bajo este principio se propuso establecer una metodología que permitiese generar el inventario de GEI de la FCFM para el año 2019 y cuya implementación pudiese ser replicada en esta y otras instituciones de educación superior a través de los años. Cabe mencionar que en la FCFM ya se habían levantado iniciativas parecidas pero bajo poca meticulosidad en los cálculos y el seguimiento de los resultados.

La base de las metodologías que existen hoy en día es la misma (GHG Protocol e ISO 14064-1) y particularmente en Chile, la herramienta que más se utiliza corresponde al programa desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, Huella Chile.

En el contexto de este trabajo y con fundamento en las herramientas recién mencionadas, se generó el inventario de GEI para la FCFM siguiendo los siguientes pasos:

1. Definir límites organizacionales y operacionales.
2. Recopilar información disponible.
3. Contrastar información requerida con la disponible.
4. Adquirir y Procesar información complementaria.
5. Calcular emisiones.

Para que los resultados de emisión fuesen comparables con los que se obtendrían al adherirse al programa Huella Chile es que se utilizaron, en su mayoría, los factores de emisión aprobados por el Ministerio del Medio Ambiente. Pese a lo anterior, se recomienda estimar los FE cuyo valor cuenta con una alta incertidumbre.

Considerando los 3 niveles de propagación se obtuvo una emisión total en la FCFM de 10.112 t CO_{2eq} , siguiendo la siguiente distribución: Alcance I 5 %, Alcance II 46 % y Alcance III 49 %. Las fuentes emisoras que presentaron mayor aporte a las emisiones totales corresponden al consumo de energía eléctrica (46 %), transporte de la comunidad universitaria (27 %), viajes de funcionarias/os y académicas/os (21 %) y fuga de refrigerantes (4 %).

Durante la puesta en práctica de la metodología, uno de los principales problemas identificados fue la inexistencia de un protocolo para ordenar y recopilar la información necesaria para los cálculos. Se confeccionó una planilla *Excel* que establece un orden para el manejo de datos, buscando que el archivo sea lo más autocontenido posible y permita una interacción simple con el usuario.

La otra gran dificultad se asoció a la estimación de las emisiones producto de (1) viajes de funcionarias/os y académicas/os y (2) transporte de la comunidad universitaria. En versiones anteriores, las distancias de los ítems recién mencionados habían sido calculadas manualmente, tarea que representaba una alta carga horaria para quien la realizaba. Para el primer caso, en este trabajo se desarrolló una alternativa que requiere menor intervención humana, creando dos funciones capaces de determinar la ruta óptima entre dos ubicaciones por vía terrestre y aérea respectivamente. Para el punto dos se implementó una función que a partir de dos direcciones retorna la distancia de la ruta óptima que las une, esto cuando la movilización se realiza en vehículo particular, transporte público o a pie. Esto último se complementó con una encuesta Origen-Destino aplicada a la comunidad universitaria de la FCFM. Ambas alternativas se basan en la herramienta *Google Maps*.

Los resultados obtenidos en los apartados recién descritos se fundamentaron en algunos supuestos importantes, principalmente en las distancias totales asignadas a cada medio de transporte considerado. Se cree que para futuras versiones la exactitud del cálculo puede aumentar al mejorar la precisión de la información solicitada por la FCFM al momento que se declaren los viajes realizados en representación de la institución (especificando el medio de transporte utilizado) y modificando la forma bajo la cual se caracteriza el transporte de cada encuestada/o en la encuesta Origen-Destino.

Se realizó un análisis de sensibilidad calculando el error marginal de la huella de carbono total de la institución, al variar en un 10 % las magnitudes características utilizadas para estimar cada ítem de emisión. De este estudio se obtuvo un error máximo de aproximadamente el 5 %. Resulta importante destacar que al tratarse de errores marginales, el efecto de la alteración de cada variable se examinó de manera independiente con respecto a los demás. Pese a lo anterior, el valor de emisión total obtenido demostró robustez frente a posibles errores asociados a la información utilizada.

En base a los resultados de la primera iteración y buscando corregir los principales errores, se elaboró una nueva propuesta metodológica aplicable en cualquier institución de educación

superior. En este caso, las etapas clave son:

1. Determinación de límites organizacionales y operacionales.
2. Familiarización con la herramienta de cálculo.
3. Compilación información disponible.
4. Realización de cálculos.

La nueva propuesta ofrece dos niveles de profundización para cada ítem de emisión, cada uno dependiente de la rigurosidad que requiera el usuario en sus cálculos y, al mismo tiempo, de la información con la que disponga. Los errores marginales asociados a la utilización de cada nivel fueron cuantificados utilizando como base los resultados obtenidos en la huella de carbono de la FCFM 2019.

Se sugiere que los límites operacionales abarquen los 3 alcances, considerando como mínimo las emisiones asociadas a refrigerantes, consumo eléctrico, viajes realizados en representación de la institución y traslado de la comunidad. En base al error marginal del primer ítem mencionado, el peso del segundo con respecto a la emisión total y la dificultad que existe hoy en día para estimar las otras dos categorías aludidas, se recomienda abordar la confección del inventario con énfasis en estos puntos.

Teniendo en cuenta que cada institución presenta una realidad particular, se construyó una planilla *Excel* genérica que busca estandarizar el orden y manejo de datos empleados para llevar a cabo las operaciones numéricas. El uso de la herramienta recién descrita y de la metodología completa se encuentra detallada en una serie de videos tutoriales disponibles en línea.

Adicionalmente, se propuso una serie de medidas para que la FCFM logre avanzar hacia la carbono-neutralidad. Gran parte de las sugerencias apuntan a la profundización del estudio para, en una siguiente etapa, identificar medidas de mitigación concretas. Dentro de las principales recomendaciones hechas destacan:

- Usar la nueva metodología para la confección del inventario de GEI.
- Monitorear el consumo eléctrico e hídrico de las instalaciones abarcadas dentro del límite organizacional.
- Aumentar la capacidad de reciclaje de la institución.
- Aplicar una encuesta Origen-Destino obligatoria a quienes conforman la comunidad universitaria.
- Determinar las acciones que disminuirán las barreras asociadas al transporte de la comunidad universitaria (identificadas en este estudio).

Se cree que para generar cambios significativos se requiere del aporte de cada miembro de la comunidad y en este ámbito, la transparencia de la información juega un rol fundamental. Según esta premisa, se propuso la creación de una aplicación para celulares que presente el detalle del inventario de GEI de la institución y que permita estimar de manera directa las emisiones asociadas al transporte del usuario. Según resultados recopilados durante la elaboración de este trabajo, cerca del 80% de la población cree que la implementación de

la aplicación descrita tendría un impacto significativo en la reducción su huella de carbono. En relación a lo anterior, se evidencia la oportunidad de que esta aplicación móvil pueda ser utilizada por la institución de educación superior que lo desee.

Finalmente y siguiendo la experiencia de universidades que llevan años trabajando en torno a la disminución de sus emisiones de GEI, se recomienda que las instituciones de educación superior que se adhieran a las propuestas planteadas generen reportes de sustentabilidad abiertos a su comunidad. En ellos se deben declarar las emisiones, objetivos de mitigación y la planificación para cumplir dichos objetivos.

Particularmente, en el corto plazo la FCFM debiese evaluar los objetivos de mitigación establecidos el 2019 y replantearlos de ser necesario, fijando metas que sean realistas y al mismo tiempo ambiciosas, posicionándose como un referente para otras instituciones de educación superior.

Bibliografía

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. ¿Qué es el Acuerdo de París?, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/33cfQzQ>> [consulta: 11-06-2020].
- [2] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Acuerdo de París. págs. 1–18, 2016.
- [3] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Anexo I: Glosario. 3: 54–67, 2018.
- [4] ECONOMIPEDIA. Carpooling, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/3gYTRAA>> [consulta: 15-08-2020].
- [5] LEYTON, FABIOLA AND BOLADERAS, MARGARITA. Ética ecológica y bioética. 2008.
- [6] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/30bMOyu>> [consulta: 13-06-2020].
- [7] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC en español, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/31atr9l>> [consulta: 19-08-2020].
- [8] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Cambio climático 2014. 2014.
- [9] KWIATKOWSKA, T. Lo natural: un concepto enigmático. Ludus vitalis: revista de filosofía de las ciencias de la vida, 14: 153–161, 2006.
- [10] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial. 2005.
- [11] WORLD WILDLIFE FUND. Conoce 5 conceptos clave del cambio climático en este Día de la Tierra, 2017 [En línea] <<https://bit.ly/313hDVi>> [consulta: 10-06-2020].
- [12] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Cambio climático, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/3jZ7AJE>> [consulta: 10-06-2020].
- [13] PACHAURI, R.K. Climate change 2014 synthesis report summary chapter for policymakers. IPCC Fifth Assessment Report, pág. 31, 2014.

- [14] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. The Causes of Climate Change, 2019 [En línea] <<https://go.nasa.gov/3jZ9dXM>> [consulta: 10-06-2020].
- [15] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. What Is the Solar Cycle?, 2019 [En línea] <<https://go.nasa.gov/2BHBCjw>> [consulta: 10-06-2020].
- [16] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Reducing Hydrofluorocarbon (HFC) Use and Emissions in the Federal Sector through SNAP, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/39FtuwA>> [consulta: 11-06-2020].
- [17] SWEDISH POLLUTANT RELEASE AND TRANSFER REGISTER. Perfluorocarbons (PFCs), 2019 [En línea] <<https://bit.ly/2P8tsEb>> [consulta: 11-06-2020].
- [18] REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES. SF6-Hexafluoruro de azufre, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/314wvTc>> [consulta: 11-06-2020].
- [19] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles. Cuarto Informe de Evaluación, pág. 77, 2007.
- [20] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Calentamiento global de 1,5 °C. 2019.
- [21] AGARD, J., SCHIPPER, L. Glosario IPCC Cambio climático 2014 - Impactos, adaptación y vulnerabilidad. pág. 22, 2014.
- [22] GOUDIE, A.S. Desertification. Encyclopedia of Environmental Health, págs. 46–51, 2019.
- [23] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. UN Report: Nature’s Dangerous Decline ‘Unprecedented’; Species Extinction Rates ‘Accelerating’, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/3ffgvCM>> [consulta: 12-06-2020].
- [24] NATIONAL GEOGRAPHIC. La Tierra está a las puertas de la sexta extinción masiva de vertebrados, 2017 [En línea] <<https://bit.ly/2Exca1f>> [consulta: 12-06-2020].
- [25] THE ATLANTIC. The Oceans We Know Won’t Survive Climate Change, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/2P8SQJZ>> [consulta: 12-06-2020].
- [26] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Glossary. 2019.
- [27] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
- [28] CLIMATE ACTION TRACKER. Climate Action Tracker: Chile, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/30ZUvag>> [consulta: 12-06-2020].

- [29] WORLD RESOURCES INSTITUTE THE WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Protocolo de Gases Efecto Invernadero. pág. 116, 2006.
- [30] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. Inf. téc., 2008.
- [31] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. ISO 14064, 2018 [En línea] <<https://bit.ly/30eoUT1>> [consulta: 13-06-2020].
- [32] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. ISO 14065, 2013 [En línea] <<https://bit.ly/2Xe9X1b>> [consulta: 13-06-2020].
- [33] HUELLA CHILE. Historia, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/2CUoZ5v>> [consulta: 30-07-2020].
- [34] HUELLA CHILE. Objetivo, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/30e8c68>> [consulta: 30-07-2020].
- [35] HUELLA CHILE. Organizaciones Registradas, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/3gisbq2>> [consulta: 30-07-2020].
- [36] HUELLA CHILE. Herramienta de Cálculo, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/314uQgA>> [consulta: 30-07-2020].
- [37] HARVARD UNIVERSITY. Harvard has tracked and publicly reported University-wide greenhouse gas emissions since 2000, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/2CXj53A>> [consulta: 13-06-2020].
- [38] HARVARD UNIVERSITY. We set a bold goal and we met it, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/2D5oLIz>> [consulta: 13-06-2020].
- [39] HARVARD UNIVERSITY. GreenHarvard, 2018 [En línea] <<https://tabsoft.co/3awPxG7>> [consulta: 15-08-2020].
- [40] UNIVERSITY OF OXFORD. Carbon Management Strategy. 2011.
- [41] UNIVERSITY OF OXFORD. Halve Peak Emissions by 2030. 2019.
- [42] UNIVERSITY OF OXFORD. Environmental Sustainability Report 2016. 2016.
- [43] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. Sustentabilidad UC, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/33hUJfD>> [consulta: 15-06-2020].
- [44] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. Sustentabilidad UC, Transporte, 2015 [En línea] <<https://bit.ly/30nAco1>> [consulta: 15-06-2020].

- [45] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. Comparte tu viaje UC, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/2Y44LNL>> [consulta: 15-08-2020].
- [46] DÍAZ, F. Reporte Calculo Huella de Carbono FCFM. pág. 8, 2015.
- [47] VICENCIO, N. Medidas para mitigar emisiones de CO₂e. 2015.
- [48] FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS. Declaración Pública, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/30lj1Dx>> [consulta: 15-06-2020].
- [49] VARGAS, V., TIRACHINI, A. Informe Encuesta Modos de Transporte 2017 de Miembros de la FCFM. pág. 42, 2017.
- [50] HUELLA CHILE. Factores de Emisión, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/3k6UZny>> [consulta: 29-06-2020].
- [51] DBEIS, DEFRA. Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020, 2020 [En línea] <<https://bit.ly/2DAMIHy>> [consulta: 15-06-2020].
- [52] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Factores de Emisión (SEN), 2020 [En línea] <<https://bit.ly/30nWIgj>> [consulta: 19-06-2020].
- [53] HUELLA CHILE. Manual de Usuario Herramienta de Cálculo de GEI Organizacional. 2016.
- [54] OFICINA DE SUSTENTABILIDAD PARA LA INGENIERÍA. Emisión Residuos (excel), 2019.
- [55] PERRY, L. Plants at Work, Indoors. University of Vermont, 2010.
- [56] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Ranking de Estaciones por Región, 2019 [En línea] <<https://bit.ly/2EPmLoy>> [consulta: 16-06-2020].
- [57] OFICINA DE SUSTENTABILIDAD PARA LA INGENIERÍA. Primer Reporte Parcial. págs. 24–29, 2019.

Anexos

Anexo A

Potencial de Calentamiento Mundial para distintos GEI

A continuación, las Figuras A.1, A.2 y A.3 presentan los valores de PCM de distintos GEI utilizados en la Tabla 1.1 de la Sección 1.1.1.

Nombre Industrial o común (años)	Fórmula química	Vida (años)	Eficacia Radiativa ($W\ m^{-2}\ ppb^{-1}$)	Potencial de calentamiento mundial para Tiempo dado de Horizonte			
				SIE [†] (100-años)	20-años	100-años	500-años
Dióxido de carbono	CO ₂	Ver debajo ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Metano ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Óxido nitroso	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Sustancias controladas por el Protocolo de Montreal							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Tetracloruro de carbón	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Cloroformo de metilo	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181

Figura A.1: PCM para distintos GEI parte 1 [19].

Nombre Industrial o común (años)	Fórmula química	Vida (años)	Eficacia Radiativa (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Potencial de calentamiento mundial para Tiempo dado de Horizonte			
				SIE* (100-años)	20-años	100-años	500-años
Hidrofluorocarbonos							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Compuestos perfluorinados							
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Trifluoruro de nitrógeno	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200
PFC-218	C ₃ F ₈	2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000 ^d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
Pentafluoruro de azufre trifluoruro de metilo	SF ₅ CF ₃	800	0.57		13,200	17,700	21,200

Figura A.2: PCM para distintos GEI parte 2 [19].

Nombre Industrial o común (años)	Fórmula química	Vida (años)	Eficacia Radiativa (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Potencial de calentamiento mundial para Tiempo dado de Horizonte			
				SIE* (100-años)	20-años	100-años	500-años
Éteres fluorinados							
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	0.44		13,800	14,900	8,490
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	0.45		12,200	6,320	1,960
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4.3	0.27		2,630	756	230
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2.6	0.38		1,230	350	106
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5.1	0.32		2,440	708	215
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4.9	0.31		2,280	659	200
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2.6	0.28		1,260	359	109
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5.2	0.34		1,980	575	175
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7.1	0.25		1,900	580	175
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0.33	0.93		386	110	33
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	3.8	0.31		1,040	297	90
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0.77	0.3		207	59	18
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6.3	1.37		6,320	1,870	569
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12.1	0.66		8,000	2,800	860
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6.2	0.87		5,100	1,500	460
Perfluorocarbonos de éter							
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	800	0.65		7,620	10,300	12,400
Hidrocarbonos y otros compuestos – Efectos directos							
Dimetilo de éter	CH ₃ OCH ₃	0.015	0.02			1	<<1
Coruro de metileno	CH ₂ Cl ₂	0.38	0.03			31	8.7
Cloruro de metilo	CH ₃ Cl	1.0	0.01			45	13

Figura A.3: PCM para distintos GEI parte 3 [19].

Anexo B

Cálculos realizados

En este apartado se encuentran las respectivas memorias de cálculo asociadas a cada una de las fuentes emisoras consideradas dentro de este estudio. El mismo análisis se encuentra disponible en el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*.

B.1. Memoria de cálculo Alcance 1

Para este alcance se consideraron las siguientes emisiones:

1. Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes.
2. Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos.
3. Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos.

A continuación se presenta la memoria de cálculo utilizada para cada ítem recién presentado.

B.1.1. Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** cantidad de refrigerante (en kg) adquirida por la FCFM durante el año 2019. La Tabla B.1 presenta la información que fue posible recibir desde el área de Administración e Infraestructura de la FCFM.

Tabla B.1: Cantidad de refrigerante adquirido por la FCFM durante el año 2019

Tipo de refrigerante	Cantidad adquirida (kg)
R410	163
R407	17
R22	27

- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de cada refrigerante adquirido por su respectivo factor de emisión según muestra la Ecuación B.1:

$$E_{A1}(ref) = ref_i \cdot fe_{ref_i} \quad (B.1)$$

En donde:

- $E_{A1}(ref)$: emisión asociada al uso de refrigerantes en el alcance 1 en kg de CO_{2eq} .
- ref_i : cantidad de refrigerante de tipo i comprada por la institución durante el año de estudio en kg .
- fe_{ref_i} : factor de emisión en kg de CO_{2eq} emitido por kg de refrigerante i utilizado.

- **Supuestos considerados:**

1. La cantidad de refrigerante comprada anualmente por la institución equivale a la cantidad de refrigerante que se fuga desde los equipos de refrigeración hacia el medio ambiente.
2. Al desconocer el tipo de refrigerante específico al que corresponden los denominados como R410 y R407, se consideraron los factores de emisión para R410B y R407B (y no R410A y R407A) ya que son los de mayor magnitud. De esta forma se posiciona el cálculo en el caso pesimista.

- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} debido al uso de refrigerante R410B.

Reemplazando la cantidad de refrigerante R410B adquirida por la FCFM durante el año 2019 (Tabla B.1) y el factor de emisión para ese contaminante [50] en la Ecuación B.1 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A1}(R410B) = 163 \text{ kg} \cdot 2.048, 2 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{kg}} \quad (B.2)$$

$$E_{A1}(R410B) = 333.856, 6 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (B.3)$$

Utilizando la misma metodología para los otros dos refrigerantes de la Tabla B.1 se obtienen los valores que se presentan en la Tabla B.2:

Tabla B.2: Emisión asociada al uso de cada refrigerante. *Controlado bajo el estándar del Protocolo de Montreal.

Tipo de refrigerante	Cantidad adquirida kg	GEI emanado	Factor de emisión $kg \text{ } CO_{2eq} / kg$	Emisión calculada $kg \text{ } CO_{2eq}$	Fuente
R410B	163	HFC	2.048	333.857	[50]
R407B	17	HFC	2.547	43.294	[50]
R22	27	HCFC*	1.810	48.870	[51]
			Total	426.021	$kg \text{ } CO_{2eq}$
			Total	426	$t \text{ } CO_{2eq}$

B.1.2. Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** cantidad de combustible (en m^3) adquirido por la FCFM durante el año 2019 para la generación de energía eléctrica. Según información compartida por el área de Administración e Infraestructura de la FCFM, el año 2019 se realizó la compra de $0,23 m^3$ de diesel para generar energía eléctrica en grupos electrógenos.
- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación del combustible adquirido por su factor de emisión según muestra la Ecuación B.4:

$$E_{A1}(Comb) = Comb_i \cdot fe_i \quad (B.4)$$

En donde:

- $E_{A1}(Comb)$: emisión asociada al consumo de combustible para generación de energía eléctrica en el alcance 1 en kg de CO_{2eq} .
 - $Comb_i$: cantidad de combustible i comprada por la institución durante el año de estudio en m^3 para uso en grupos electrógenos.
 - fe_i : factor de emisión asociado a la quema del combustible i en kg de CO_{2eq} emitido por m^3 de combustible utilizado.
- **Supuestos considerados:** la totalidad del producto de combustión para la generación de energía eléctrica es liberado a la atmósfera.
 - **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta cálculo realizado para estimar la emisión en CO_{2eq} producto de la combustión de diésel en grupos electrógenos.

Reemplazando la cantidad de diésel adquirido por la FCFM durante el año 2019 y el factor de emisión para ese contaminante [50] en la Ecuación B.4 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A1}(Diesel) = 0,23 m^3 \cdot 2,7 \frac{t CO_{2eq}}{m^3} \quad (B.5)$$

$$E_{A1}(Diesel) = 0,622 t CO_{2eq} \quad (B.6)$$

En resumen, la emisión de CO_{2eq} producto de la quema de combustible para generación de electricidad se presenta en la Tabla B.3:

Tabla B.3: Emisión producto de la quema de combustible para generación de electricidad.

Tipo de combustible	Cantidad adquirida <i>m</i> ³	GEI emanados	Factor de emisión <i>t CO_{2eq} / m</i> ³	Emisión calculada <i>kg CO_{2eq}</i>	Fuente
Diésel	0,23	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	2,7	0,622	[51]

B.1.3. Emisiones asociadas al uso de combustible en vehículos

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** montos facturados en *CLP* correspondientes a la compra de combustible para uso de los vehículos propios de la FCFM. La lista de facturas recibida por parte de la institución fue filtrada y procesada (ver *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*), obteniéndose como resumen la Tabla B.4.

Tabla B.4: Facturación de combustibles durante cada mes del año 2019 para el uso en vehículos pertenecientes a la FCFM.

Mes	Gasolina 93 octanos	Gasolina 95 octanos	Gasolina 97 octanos	Diésel
Enero	\$ 30.000	\$ 4.385.402		\$ 239.722
Febrero				
Marzo	\$ 53.000	\$ 1.577.052		\$ 1.172.888
Abril	\$ 63.503	\$ 3.076.150		\$ 378.601
Mayo	\$ 50.000	\$ 1.304.953		\$ 1.458.749
Junio	\$ 89.005	\$ 1.896.416	\$ 35.999	\$ 886.188
Julio	\$ 104.000	\$ 1.088.242		\$ 2.325.838
Agosto	\$ 81.000	\$ 1.157.607		\$ 206.875
Septiembre		\$ 1.294.468		\$ 369.784
Octubre	\$ 45.000	\$ 570.478		\$ 272.354
Noviembre	\$ 10.000	\$ 1.271.298		\$ 504.607
Diciembre	\$ 133.363	\$ 3.842.183		\$ 204.723
Total meses	\$ 658.871	\$ 21.464.249	\$ 35.999	\$ 8.020.329

- **Metodología utilizada:** en primer lugar es necesario obtener los litros comprados de cada combustible durante los 12 meses del año. Esto se estima a partir del precio mínimo registrado para cada combustible durante el año 2019 (Tabla B.5) [56] y la Ecuación B.7.

Tabla B.5: Precio mínimo registrado para cada combustible durante el año 2019 dentro de la RM.

Mes	Gasolina 93 octanos <i>CLP/L</i>	Gasolina 95 octanos <i>CLP/L</i>	Gasolina 97 octanos <i>CLP/L</i>	Diésel <i>CLP/L</i>
Enero	\$ 751	\$ 764	\$ 756	\$ 580
Febrero	\$ 729	\$ 742	\$ 755	\$ 557
Marzo	\$ 722	\$ 735	\$ 748	\$ 550
Abril	\$ 754	\$ 767	\$ 778	\$ 561
Mayo	\$ 780	\$ 791	\$ 801	\$ 582
Junio	\$ 778	\$ 788	\$ 801	\$ 582
Julio	\$ 766	\$ 778	\$ 790	\$ 567
Agosto	\$ 772	\$ 789	\$ 801	\$ 575
Septiembre	\$ 768	\$ 785	\$ 796	\$ 583
Octubre	\$ 785	\$ 805	\$ 820	\$ 601
Noviembre	\$ 786	\$ 808	\$ 825	\$ 602
Diciembre	\$ 807	\$ 826	\$ 841	\$ 624

$$Lc_{i,m} = \frac{G_{i,m}}{Pmin_{i,m}} \quad (\text{B.7})$$

En donde:

- $Lc_{i,m}$: cantidad de combustible i comprado por la institución en el mes m durante el año de estudio en L .
- $G_{i,m}$: gastos asociados a la compra de combustible i durante el mes m durante el año de estudio en CLP .
- $Pmin_{i,m}$: precio mínimo del combustible i en la RM en el mes m durante el año de estudio en CLP/L .

La Tabla B.6 presenta el resultado del cálculo de los litros de combustible consumidos durante el año 2019 a partir de los valores de las Tablas B.4 y B.5 utilizando la Ecuación B.7.

Tabla B.6: Litros de combustible consumidos por vehículos pertenecientes a la FCFM durante el año 2019.

Mes	Gasolina	Gasolina	Gasolina 97	Diésel
	93 octanos	95 octanos	octanos	
	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
Enero	40	5.738	0	413
Febrero	0	0	0	0
Marzo	73	2.146	0	2.133
Abril	84	4.013	0	675
Mayo	64	1.651	0	2.508
Junio	114	2.407	45	1.523
Julio	136	1.399	0	4.101
Agosto	105	1.468	0	360
Septiembre	0	1.650	0	634
Octubre	57	709	0	453
Noviembre	13	1.573	0	839
Diciembre	165	4.649	0	328
Total	852	27.404	45	13.967

La huella de carbono asociada al consumo de combustible para consumo en vehículos se estima a partir de la ponderación de la cantidad total de combustible adquirido por su factor de emisión según muestra la Ecuación B.8:

$$E_{A1}(comb_V) = Comb_i \cdot fe_i \quad (B.8)$$

En donde:

- $E_{A1}(comb_V)$: emisión asociada al uso de combustibles para vehículos en el alcance 1 en *kg* de CO_{2eq} .
- $Comb_i$: volumen total de combustible de tipo *i* utilizado por vehículos durante el año de estudio en m^3 .
- fe_i : factor de emisión del combustible *i* en *kg* de CO_{2eq} emitido por m^3 consumido por combustión en vehículos.

• **Supuestos considerados:**

1. Las facturas en donde no se declara el tipo de combustible (ver *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*), se asocian a gasolina de 95 octanos pues corresponde al combustible más solicitado.
2. Los factores de emisión de distancia recorrida producto de la combustión de Gasolina 93, 95 y 97 octanos se consideran equivalentes.
3. La cantidad de litros comprados para cada combustible se maximiza asumiendo el precio mínimo de c/u. De esta forma se busca sobrestimar el cálculo de las emisiones asociadas a este ítem.
4. Este cálculo ignora el rendimiento y tipo de vehículos utilizados.

- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} debido al uso de gasolina de 93 octanos.

Reemplazando el volumen total de gasolina de 93 octanos (Tabla B.6) y su factor de emisión [50] en la Ecuación B.8 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A1}(comb_{93}) = 0,852 \text{ m}^3 \cdot 2.306,2 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{m}^3} \quad (\text{B.9})$$

$$E_{A1}(comb_{93}) = 1.965,1 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (\text{B.10})$$

Utilizando la misma metodología para los demás tipos de gasolina se obtienen los valores que se presentan en la Tabla B.7:

Tabla B.7: Emisión asociada a la combustión de los distintos tipos de gasolina en vehículos.

Tipo de combustible	Cantidad adquirida m^3	GEI emanado	Factor de emisión $\text{kg } CO_{2eq} / \text{m}^3$	Emisión calculada $\text{kg } CO_{2eq}$	Fuente
Bencina de 93	0,852	CO_2 CH_4 N_2O	2.306,2	1.965	[50]
Bencina de 95	27,404	CO_2 CH_4 N_2O	2.306,2	63.199	[50]
Bencina de 97	0,045	CO_2 CH_4 N_2O	2.306,2	104	[50]
Diesel	13,967	CO_2 CH_4 N_2O	2.740,2	38.272	[50]
Total				103.538	$\text{kg } CO_{2eq}$
Total				104	$\text{t } CO_{2eq}$

B.2. Memoria de cálculo Alcance 2

En el cálculo de emisiones para este alcance se consideró la emisión asociada a la energía eléctrica comprada y consumida por la FCFM.

B.2.1. Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** boletas eléctricas de las principales dependencias de la facultad facturadas durante el año 2019. La Tabla B.8 presenta el resumen de la información que fue posible recibir desde el área de Administración e Infraestructura de la FCFM (ver archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*).

Tabla B.8: Consumo eléctrico de principales dependencias de FCFM durante 2019.

Mes	Dependencia					
	(1) <i>MWh</i>	(2) <i>MWh</i>	(3) <i>MWh</i>	(4) <i>MWh</i>	(5) <i>MWh</i>	(6) <i>MWh</i>
En	400	173	130	112	116	54
Feb	378	201	133	127	117	47
Mar	315	150	96	88	78	42
Ab	403	226	119	112	112	46
Ma	0	220	129	112	112	46
Jun	372	202	126	114	113	59
Jul	745	0	150	130	124	66
Ag	373	418	158	135	125	70
Sep	368	205	139	117	114	61
Oct	327	209	124	102	103	18
Nov	0	0	124	83	0	73
Dic	643	384	129	0	178	45
Total	4.324	2.388	1.557	1.231	1.291	626

Las dependencias destacadas en la tabla corresponden a: (1) Beauchef 851 Oriente y Poniente (2) Beauchef 851 Norte (3) Edificios de Geofísica, Ing. Civil Civil, Geología (4) Edificio Escuela y Edificio de Química (5) Torre Central, Edificio Eléctrica y Edificio Física (6) Otras dependencias (República 695, Domeyko 2338, 2359, 2361 y 2363, Blanco Encalada 2008 P/7 700, Cerro Calán, Avda. Paul Harris 9037 y 9085, Camino del Observatorio 1515).

- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de la suma del consumo eléctrico mensual de las principales dependencias de la facultad por el respectivo factor de emisión declarado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) [52]. La Tabla B.9 presenta los valores obtenidos desde la CNE y la Ecuación B.11 representa el cálculo que se debe realizar:

Tabla B.9: Factores de emisión declarados para cada mes del 2019 [52].

Mes (2019)	Factor de emisión ($t CO_{2eq}/MWh$)
En	0,3653
Feb	0,4049
Mar	0,4264
Ab	0,4373
Ma	0,4475
Jun	0,4170
Jul	0,4140
Ag	0,3955
Sep	0,4165
Oct	0,3701
Nov	0,3696
Dic	0,4028

$$E_{A2}(CE_i) = E_i \cdot fe_{E_i} \quad (B.11)$$

En donde:

- $E_{A2}(CE_i)$: emisión asociada a la generación de la energía eléctrica consumida por las principales dependencias de la FCFM durante el mes i en t de CO_{2eq} .
- E_i : energía eléctrica total consumida por las principales dependencias de la FCFM durante el mes i en MWh .
- fe_{E_i} : factor de emisión en t de CO_{2eq} emitido por MWh de electricidad consumida durante el mes m .

- **Supuesto considerado:** solo se considera la electricidad consumida por las dependencias de la facultad ya mencionadas.
- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} durante el mes de enero 2019.

La magnitud de la emisión proveniente de la energía consumida por las principales dependencias de la FCFM durante enero del 2019 está dada por la Ecuación B.12.

$$E_{A2}(CE_{enero}) = E_{enero} \cdot fe_{E_{enero}} \quad (B.12)$$

$$E_{A2}(CE_{enero}) = 984 \text{ MWh} \cdot 0,3653 \frac{t CO_{2eq}}{MWh} \quad (B.13)$$

$$E_{A2}(CE_{enero}) = 359,6 \text{ t } CO_{2eq} \quad (B.14)$$

Repitiendo el procedimiento para las 6 áreas consideradas y los 12 meses del año, se obtienen los valores que se presentan en la Tabla B.10:

Tabla B.10: Emisión anual por dependencia considerada en el calculo.

Mes	Dependencia						Total
	(1) <i>t CO_{2eq}</i>	(2) <i>t CO_{2eq}</i>	(3) <i>t CO_{2eq}</i>	(4) <i>t CO_{2eq}</i>	(5) <i>t CO_{2eq}</i>	(6) <i>t CO_{2eq}</i>	
En	146	63	47	41	42	20	360
Feb	153	81	54	51	47	19	406
Mar	134	64	41	37	33	18	328
Ab	176	99	52	49	49	20	445
Ma	0	99	58	50	50	21	277
Jun	155	84	52	48	47	25	411
Jul	309	0	62	54	52	27	503
Ag	148	165	62	53	49	28	506
Sep	153	85	58	49	47	26	418
Oct	121	77	46	38	38	6	327
Nov	0	0	46	31	0	27	104
Dic	259	155	52	0	72	18	555
Total	1.754	973	631	500	527	254	4.639

Las dependencias destacadas en la tabla corresponden a: (1) Beauchef 851 Oriente y Poniente (2) Beauchef 851 Norte (3) Edificios de Geofísica, Ing. Civil Civil, Geología (4) Edificio Escuela y Edificio de Química (5) Torre Central, Edificio Eléctrica y Edificio Física (6) Otras dependencias (República 695, Domeyko 2338, 2359, 2361 y 2363, Blanco Encalada 2008 P/7 700, Cerro Calán, Avda. Paul Harris 9037 y 9085, Camino del Observatorio 1515).

B.3. Memoria de cálculo Alcance 3

Para este alcance se consideraron las siguientes emisiones:

1. Emisiones asociadas a la gestión de residuos.
2. Emisiones asociadas al consumo de agua.
3. Emisiones asociadas a viajes de académicos y funcionarios.
4. Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria.

A continuación se presenta la memoria de cálculo utilizada para cada ítem recién presentado.

B.3.1. Emisiones asociadas a la gestión de residuos

Este ítem integra dos cálculos. El primero corresponde a las emisiones que son producto del transporte de los residuos a su destino final (relleno sanitario o centro de acopio). La otra arista corresponde a las emisiones que ocurren en el relleno sanitario (por descomposición y efecto en el medio ambiente de los residuos) o por los procesos que se necesitan para revalorizar los residuos cuyo destino sea el centro de reciclaje.

- **Información con la que se cuenta:** caracterización de los residuos de la FCFM correspondientes al año 2019 y cantidad que se envía a relleno sanitario y centro de reciclaje. La Tabla B.11 presenta la información que fue posible recibir desde la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad de la FCFM (ver archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsx*) [57] [54].

Tabla B.11: Caracterización de residuos FCFM 2019.

Categoría	Disposición en	Valorizados hacia
	relleno sanitario	centro de reciclaje
	<i>t anual</i>	<i>t anual</i>
Residuos domiciliarios	40,2	8,7
Papel	35	9,8
Cartón	10,7	3,9
Plástico	16,6	1,6
Envases	2,1	0,6
Vidrios	2,4	2,8
Metales	2,5	1
RSE	2,6	4,8
Otros	3	0
Total	115,1	33,2

Emisión asociada al transporte de residuos

- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de la masa de residuos transportada en cada viaje hacia su destino, la distancia que debe

recorrer y su respectivo factor de emisión según muestra la Ecuación B.15:

$$E_{A3}(t_i) = m_i \cdot d_i \cdot n_{vi} \cdot fe_{t_i} \quad (B.15)$$

En donde:

- $E_{A3}(t_i)$: emisión asociada al transporte de residuos de tipo i en el alcance 3 en kg de CO_{2eq} .
- m_i : masa de residuos de tipo i transportada en cada viaje hacia su destino en t .
- d_i : distancia que debe recorrer el transportista desde y hacia la FCFM en relación al destino asociado a residuos de tipo i en km .
- n_{vi} : número de viajes que deben realizarse en un año para retirar los residuos del tipo i .
- fe_{t_i} : factor de emisión asociado al transporte de residuos de tipo i en $kg CO_{2eq}/t-km$.

• **Supuestos considerados:**

1. Los residuos no reciclables tienen como destino KDM Loma los Colorados mientras que los residuos valorizados van al Centro de Reciclaje Hope Chile. La distancia asignada para cada viaje corresponde a la distancia de la ruta óptima entregada por *Google Maps*, 84,7 y 13,4 km para KDM y Hope Chile desde la FCFM respectivamente.
2. Se considera que el transporte de los residuos no valorizados se lleva a cabo gracias a camiones promedio de 3 t de capacidad. Para los residuos reciclados se asume el FE asociado a vehículos medianos (0,75 t de capacidad).
3. Para los residuos con destino relleno sanitario, se asume un viaje diario durante los días hábiles del año 2019. Para los residuos valorizados, se estima la cantidad de viajes requeridos a lo largo del año para transportar la masa total.
4. Se considera un viaje de ida y uno de vuelta hacia el destino final de cada tipo de residuo. De esta forma se busca sobrestimar la huella.

- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} debida al transporte de residuos con destino relleno sanitario.

Reemplazando la masa a transportar en cada viaje, la distancia que se debe recorrer, el número de viajes y el respectivo factor de emisión [50] para este tipo de residuos en la Ecuación B.15 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A3}(t_{relleno}) = 0,4604 t \cdot 169,4 km \cdot 250 \cdot 0,2092 \frac{kg CO_{2eq}}{t \cdot km} \quad (B.16)$$

$$E_{A3}(t_{relleno}) = 4.078,97 kgCO_{2eq} \quad (B.17)$$

Utilizando la misma metodología para los residuos valorizados se obtienen los resultados que se presentan en la siguiente Tabla B.12

Tabla B.12: Emisiones asociadas al transporte de residuos.

Tipo de residuo	No valorizado	Valorizado	Emisión total
Masa por viaje <i>t</i>	0,4604	0,7500	-
Distancia recorrida <i>km</i>	169,4	26,8	-
Número de viajes al año	250	44,3	-
GEI emanado	CO2, CH4, N2O	CO2, CH4, N2O	-
Factor de emisión <i>kg CO_{2eq}/t · km</i>	0,2092	0,5635	-
Emisión calculada <i>kg CO_{2eq}</i>	4078,97	501,38	4580,3
Fuente	[50]	[50]	-

Emisión asociada a la deposición final de residuos

- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de la masa de cada tipo de residuo por su respectivo factor de emisión asociado a su disposición final según muestra la Ecuación B.18:

$$E_{A3}(disp_{i,d}) = m_{i,d} \cdot fe_{t_{i,d}} \quad (B.18)$$

En donde:

- $E_{A3}(disp_{i,d})$: emisión asociada a la disposición final del residuo i en el destino (relleno o reciclaje) d en el alcance 3 en kg de CO_{2eq} .
 - $m_{i,d}$: masa de residuos de tipo i con destino d en t .
 - $fe_{t_{i,d}}$: factor de emisión asociado al residuo i cuando su destino es d en $kg CO_{2eq}/t$.
- **Supuesto considerado:** se consideró un factor de emisión genérico para los residuos cuyo destino corresponde al relleno sanitario.
 - **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} para residuos domiciliarios con destino relleno sanitario.

Reemplazando la masa de residuos domiciliarios que son enviados al relleno sanitario y su respectivo factor de emisión [50] en la Ecuación B.18 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A3}(\text{disp}_{rd,\text{relleno}}) = 40,2 \text{ t} \cdot 199 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{t}} \quad (\text{B.19})$$

$$E_{A3}(\text{disp}_{rd,\text{relleno}}) = 7.999,8 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (\text{B.20})$$

Utilizando la misma metodología para el resto de los residuos, se obtienen los resultados que se presentan en la siguiente Tabla B.13.

Tabla B.13: Emisiones asociadas al transporte de residuos.

Tipo de residuo	Destino	Masa <i>t</i>	GEI emanado	Valor <i>kg CO_{2eq}/t</i>	Emisión calculada <i>kg CO_{2eq}</i>	Fuente
Residuos domiciliarios	Relleno	40,2	CO2	199	8.000	[50]
	Reciclaje	8,7	CO2	6	52	[50]
Papel	Relleno	35,0	CO2	199	6.965	[50]
	Reciclaje	9,8	CO2	21	206	[50]
Cartón	Relleno	10,7	CO2	199	2.129	[50]
	Reciclaje	3,9	CO2	21	82	[50]
Plástico	Relleno	16,6	CO2	199	3.303	[50]
	Reciclaje	1,6	CO2	21	34	[50]
Envases	Relleno	2,1	CO2	199	418	[50]
	Reciclaje	0,6	CO2	21	13	[50]
Vidrios	Relleno	2,4	CO2	199	478	[50]
	Reciclaje	2,8	CO2	21	59	[50]
Metales	Relleno	2,5	CO2	199	498	[50]
	Reciclaje	1,0	CO2	21	21	[50]
RSE	Relleno	2,6	CO2	199	517	[50]
	Reciclaje	4,8	CO2	65	312	[50]
Otros	Relleno	3,0	CO2	199	597	[50]
	Reciclaje	0,0	CO2	-	-	-
				Total	23.683	<i>kg CO_{2eq}</i>
				Total	24	<i>t CO_{2eq}</i>

B.3.2. Emisiones asociadas al consumo de agua

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** consumo total de agua relacionado a las siguientes dependencias asociadas a la FCFM: Beauchef 850, Beauchef 851, edificio República, Cerro Calán, Casino y Semda. El valor total corresponde a 89.742 m³ de agua consumida durante el año 2019.
- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación del agua total consumida por su factor de emisión según muestra la Ecuación B.21:

$$E_{A3}(agua) = V_{agua} \cdot fe_{agua} \quad (B.21)$$

En donde:

- $E_{A3}(agua)$: emisión asociada al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM durante el año 2019 para el alcance 3 en kg de CO_{2eq} .
 - V_{agua} : volumen total de agua consumida durante el año 2019 en m^3 .
 - fe_{agua} : factor de emisión asociado al consumo de agua por abastecimiento de servicios básicos kg de CO_{2eq} emitido por m^3 de agua utilizada.
- **Supuesto considerado:** solo se considera el consumo de las dependencias ya descritas.
 - **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta cálculo realizado para estimar la emisión en CO_{2eq} producto del consumo de agua.

Reemplazando la cantidad de agua consumida por la FCFM durante el año 2019 y el factor de emisión para este ítem [50] en la Ecuación B.21 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A3}(agua) = 89.742 \text{ m}^3 \cdot 1,052 \frac{kg \text{ } CO_{2eq}}{m^3} \quad (B.22)$$

$$E_{A3}(agua) = 94.408,6 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (B.23)$$

En resumen, la emisión de CO_{2eq} producto del consumo de agua se presenta en la Tabla B.14:

Tabla B.14: Emisión del consumo de agua por la FCFM 2019.

Volumen total de agua m^3	GEI emanado	Factor de emisión $kg \text{ } CO_{2eq}/m^3$	Emisión calculada $kg \text{ } CO_{2eq}$	Fuente
89.742	CO_2	1,052	94.409	[50]

B.3.3. Emisiones asociadas a viajes de académicas/os y funcionarias/os.

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** además del motivo del viaje, origen y destino de los viajes de académicas/os y funcionarias/os realizados durante el año 2019. El archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm* presenta la lista completa de datos recibidos por la FCFM.
- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de la distancia total recorrida a través de los distintos medios de transporte (Tabla B.15) y sus respectivos factores de emisión según muestra la Ecuación B.24:

Tabla B.15: Distancia total calculada para viajes de académicas/os y funcionarias/os en distintos medios de transporte.

Medio de transporte considerado para FE	Distancia total recorrida <i>km</i>
Vehículo particular	47.757
Bus local	150.296
Avión trayecto doméstico	519.094
Avión trayecto internacional	11.035.713

$$E_{A3}(viajes_i) = Dt_i \cdot fe_i \quad (B.24)$$

En donde:

- $E_{A3}(viajes_i)$: emisión asociada al transporte producto de viajes en el medio de transporte i en el alcance 3 en kg de CO_{2eq} .
- Dt_i : distancia total recorrida en el medio de transporte i en km .
- fe_i : factor de emisión asociada a viajes en el medio de transporte i en kg de CO_{2eq} emitido por km recorrido.

- **Supuestos considerados:**

1. Para la distancia terrestre de cada viaje se utilizó la ruta óptima (cuando se encontrase disponible) entregada por *Google Maps* cuando se considera un viaje en automóvil. El código utilizado para obtener las distancias se presenta en el Anexo D.1.
2. Para estimar las distancias por vía aérea, se consideró la distancia en línea recta obtenida a partir de las coordenadas de cada ciudad. El código utilizado para obtener las distancias se presenta en el Anexo D.2.
3. En caso de que una ubicación de origen y/o destino no contase con aeropuerto, se considera que la distancia calculada representa una buena aproximación desde las distintas ciudades hacia los respectivos aeropuertos más cercanos. En ese caso, el transporte por vía terrestre hacia cada aeropuerto no se toma en cuenta.

4. Se definen intervalos entre las distancias por transporte terrestre obtenidas para determinar el factor de emisión que se utiliza en el cálculo de la huella de carbono. La siguiente tabla presenta los límites utilizados.

Tabla B.16: Límites propuestos para determinar factores de emisión a utilizar.

Medio de transporte considerado para FE	Desde <i>km</i>	Hasta <i>km</i>	Nota
Vehículo particular	0	150	Considera distancia terrestre
Bus local	151	600	Considera distancia terrestre
Avión trayecto doméstico	601	-	Considera distancia aérea para viajes dentro del territorio nacional
Avión trayecto internacional	601	-	Considera distancia aérea para viajes fuera del territorio nacional

5. Para cada pareja de datos se cálculo la distancia por vía terrestre y aérea. En caso de no estar disponible la ruta por vía terrestre, se utilizó la distancia en línea recta.

- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} producto del transporte en vehículos particulares.

Reemplazando la distancia total recorrida en vehículos particulares (Tabla B.15) y el factor de emisión asociado a ese medio de transporte [50] en la Ecuación B.24 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A3}(viajes_{vp}) = 47.757 \text{ km} \cdot 0,2097 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{km}} \quad (\text{B.25})$$

$$E_{A3}(viajes_{vp}) = 10.015 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (\text{B.26})$$

Utilizando la misma metodología para los demás medios de transporte se obtienen los valores que se presentan en la Tabla B.17:

Tabla B.17: Emisión asociada a viajes realizados en representación de la FCFM.

Medio de transporte considerado	Distancia recorrida <i>km</i>	GEI emanados	Factor de emisión <i>kg CO_{2eq}/km</i>	Emisión calculada <i>kg CO_{2eq}</i>	Fuente
Vehículo particular	47.757	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	0,2097	10.015	[50]
Bus local	150.296	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	0,0274	4.118	[50]
Avión trayecto doméstico	519.094	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	0,2787	144.671	[50]
Avión trayecto internacional	11.035.712	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	0,1790	1.975.393	[50]
Total				2.134.197	<i>kg CO_{2eq}</i>
Total				2.134	<i>t CO_{2eq}</i>

Con el fin de poder analizar caso a caso, se presentan también las emisiones de este ítem según motivo del viaje. La Tabla B.18 presenta este resultado en donde CS corresponde a comisión de servicio, CA comisión académica, CE comisión de estudio y C cometido.

Tabla B.18: Emisión asociada a viajes realizados en representación de la FCFM por motivo de viaje.

Medio de transporte considerado	Emisiones por motivo de viaje <i>t CO_{2eq}</i>			
	CS	CA	CE	C
Vehículo particular	0,19	0,19	0,00	9,63
Bus local	0,69	1,21	0,03	2,19
Avión (nacional)	0,00	0,00	0,00	144,67
Avión (internacional)	452,69	1.478,20	44,50	0,00
Total <i>t CO_{2eq}</i>	453,58	1.479,60	44,53	156,49

B.3.4. Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria.

A continuación se presenta la forma con la que se abordó este cálculo.

- **Información con la que se cuenta:** en un comienzo, solo se contaba con la caracterización de la comunidad universitaria, la Tabla B.19 presenta esta información.

Tabla B.19: Población por estamentos FCFM 2019.

Estamento	Población
Estudiante pregrado	5.442
Estudiante postgrado	1.482
Estudiante educación continua (diplomados y cursos)	2.035
Profesor/a jornada completa (22 hrs o más)	274
Funcionaria/o contrata o planta	1.088
Funcionaria/o honorario	2.661
Total	12.982

Para conocer el resto de la información, se realizó una encuesta Origen-Destino aplicada a la comunidad universitaria. El objetivo principal de su aplicación radicaba en conocer los hábitos de transporte de quienes contestaron, además de información necesaria para estimar la distancia que existe desde sus domicilios hacía la institución. El Anexo E presenta la encuesta realizada.

- **Metodología utilizada:** la emisión de CO_{2eq} se estima a partir de la ponderación de la distancia total recorrida en cada medio de transporte a lo largo del año 2019, estimada a partir de la encuesta Origen-Destino (ver Tabla B.20) y sus respectivos factores de emisión según muestra la Ecuación B.27 (para mayor detalle se recomienda visitar el archivo *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*):

Tabla B.20: Distancia total recorrida estimada para la población total de la FCFM, año 2019.

Tipo de movilización	Distancia total <i>km</i>
Bicicleta	2.942.021
Caminata	2.823.005
Micro/Bus	16.672.260
Metro/Metro-tren	13.606.447
Motocicleta	130.764
Auto convencional	6.943.915
Auto Híbrido	254.289
Auto eléctrico	17.156
Taxi o Colectivo	271.995
Uber, Cabify, Didi u otra	243.080
Total	43.904.932

$$E_{A3}(\text{transporte}_i) = Dt_i \cdot fe_i \quad (\text{B.27})$$

En donde:

- $E_{A3}(\text{transporte}_i)$: emisión asociada al transporte de la comunidad bajo el medio de transporte i en el alcance 3 en kg de CO_{2eq} .
- Dt_i : distancia total recorrida en el medio de transporte i en km .
- fe_i : factor de emisión asociada a viajes en el medio de transporte i en kg de CO_{2eq} emitido por km recorrido.

• **Supuestos considerados:**

1. Para estimar la distancia recorrida caminando o en bicicleta se considera la ruta óptima entregada por *Google Maps* cuando el viaje se realiza a pie. El código utilizado para obtener las distancias se presenta en el Anexo D.3.
2. Para estimar las rutas de vehículos particulares motorizados se considera la ruta óptima entregada por *Google Maps* cuando el viaje se realiza en automóvil. El código utilizado para obtener las distancias se presenta en el Anexo D.3.
3. Al no ser posible diferenciar rutas de Metro/Tren o Micro/Bus, para estos cálculos se ocupa el equivalente a distancia en “transporte público” entregada por *Google Maps*. El código utilizado para obtener las distancias se presenta en el Anexo D.3.
4. Solo se contabilizó el viaje ida y vuelta hacia Beauchef 850 y 851. Se asume que el viaje a dependencias aledañas (ej: edificio república) se ve representado de buena forma por este supuesto.
5. Pese a que se recopilaron datos para el viaje hacia Cerro Calán, este no se consideró en el cálculo debido a la poca representatividad de la muestra (2 respuestas).
6. Los resultados de la encuesta fueron procesados y ponderados por un factor de expansión para estimar la distancia total recorrida por la comunidad universitaria de la FCFM durante el año 2019. El detalle del procesamiento de datos se encuentra en el Anexo F y en el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*.

- **Ejemplo de cálculo:** a continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la emisión de CO_{2eq} producto del transporte en Micro/Bus.

Reemplazando la distancia total recorrida en Micro/Bus (Tabla B.20) y el factor de emisión asociado a ese medio de transporte [50] en la Ecuación B.27 se obtiene lo siguiente:

$$E_{A3}(\text{transporte}_{M/B}) = 16.672.260 \text{ km} \cdot 0,039 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{km}} \quad (\text{B.28})$$

$$E_{A3}(\text{transporte}_{M/B}) = 653.553 \text{ kg } CO_{2eq} \quad (\text{B.29})$$

Utilizando la misma metodología para los demás tipos de movilización se obtienen los valores que se presentan en la Tabla B.21:

Tabla B.21: Emisión asociada al transporte de la comunidad universitaria de la FCFM 2019.

Tipo de movilización	Distancia total recorrida <i>km</i>	GEI emanado	Factor de emisión <i>kg CO_{2eq}/km</i>	Emisión calculada <i>kg CO_{2eq}</i>	Fuente
Bicicleta	2.942.021	-	0	0	-
Caminata	2.823.005	-	0	0	-
Micro/Bus	16.672.260	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,03920	653.553	[50]
Metro/ Metro-tren	13.606.447	<i>CO₂</i>	0,03300	449.013	[50]
Motocicleta	130.764	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,09220	12.056	[50]
Auto convencional	6.943.915	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,20970	1.456.139	[50]
Auto híbrido	254.289	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,02969	7.550	[50]
Auto eléctrico	17.156	<i>CO₂</i>	0,00790	136	[50]
Taxi o Colectivo	271.995	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,20970	57.037	[50]
Uber, Cabify, Didi u otra aplicación	243.080	<i>CO₂</i> <i>CH₄</i> <i>N₂O</i>	0,20970	50.974	[50]
			Total	2.686.457	<i>kg CO_{2eq}</i>
			Total	2.686	<i>t CO_{2eq}</i>

Anexo C

Desglose emisiones por GEI

La siguiente tabla presenta el desglose de emisiones de la FCFM para cada uno de los GEI identificados.

Tabla C.1: Desglose de aporte de distintos GEI a la huella de carbono de la FCFM 2019.*
Corresponde a un gas no controlado en el protocolo de Kioto.

GEI	Alcance 1	Alcance 1	Alcance 1	Total
	<i>t CO_{2eq}</i>	<i>t CO_{2eq}</i>	<i>t CO_{2eq}</i>	<i>t CO_{2eq}</i>
<i>CO₂</i>	102,1	4.638,8	4.886,2	9.627,1
<i>CH₄</i>	0,15	-	4,0	4,1
<i>N₂O</i>	1,9	-	53,1	55,1
<i>HFC</i>	377,2	-	-	377,2
<i>HCFC*</i>	48,9	-	-	48,9
			Total	10.112,3
			<i>t CO_{2eq}</i>	

Anexo D

Códigos utilizados

D.1. Código utilizado para la estimación de la huella asociada al viaje de académicas/os y funcionarias/os (distancia terrestre)

El siguiente código fue utilizado para estimar la distancia entre dos ciudades cuando el medio de transporte corresponde a un vehículo terrestre motorizado. La función creada se basa en la información que dispone *Google Maps* y fue implementada en el editor de secuencias de comando de *Google Sheets*.

```
1  /**
2  * Calcula la distancia de la ruta optima para viaje en automovil entre dos
3  * puntos.
4  * @param direccion_inicio Direccion como string ej: "Santiago, Chile"
5  * @param direccion_final Direccion como string ej: "Coquimbo, Chile"
6  * @param tipo_respuesta Respuesta que necesita como string ej: "auto"
7  * @customfunction
8  */
9  function GOOGLEMAPS_AUTO(direccion_inicio,direccion_final,tipo_respuesta)
10     {
11     // accede a la funcion de Google Maps para encontrar indicaciones
12     var mapObj = Maps.newDirectionFinder();
13     // establece el origen
14     mapObj.setOrigin(direccion_inicio);
15     // establece el destino
16     mapObj.setDestination(direccion_final);
17     // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milésimas de segundo para
18     // evitar saturacion de la funcion
19     Utilities.sleep(2000);
20
21     switch(tipo_respuesta){
22     case "auto":
23         // define el tipo de indicaciones que se espera obtener, en este
```

```

25     // caso automovil
    mapObj.setMode(Maps.DirectionFinder.Mode.DRIVING);
    var indicaciones1 = mapObj.getDirections();
27     // accede a la distancia en metros que entrega la ruta optima de
    Google Maps
    var m_auto = indicaciones1["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["
value"];
29     // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo
    para
    // evitar saturacion de la funcion
31     Utilities.sleep(2000);
    //transforma la distancia a km
33     return m_auto * 0.001;
    break;
35
    default:
37     // en caso de que tipo_respuesta no corresponda a "auto" indica
    error
    return "Tipo de respuesta no valida";
39 }
}

```

Listing D.1: Código utilizado para estimar la distancia de la ruta óptima entre dos ciudades vía terrestre.

D.2. Código utilizado para la estimación de la huella asociada al viaje de académicas/os y funcionarias/os (distancia aérea)

El siguiente código fue utilizado para estimar la distancia entre dos ciudades cuando el medio de transporte corresponde a un avión. La función creada se basa en la información que dispone *Google Maps* y fue implementada en el editor de secuencias de comando de *Google Sheets*.

```

/**
2 * Calcula la distancia en linea recta entre dos puntos.
* @param ciudad1 ubicacion como string ej: "Santiago, Chile"
4 * @param ciudad2 ubicacion como string ej: "Coquimbo, Chile"
* @customfunction
6 */
function DIST_VUELO(ciudad1, ciudad2) {
8     // extrae longitud de la primera ubicacion
    var p1_lng = Maps.newGeocoder().geocode(ciudad1).results[0].geometry.
location.lng;
10     // extrae latitud de la primera ubicacion
    var p1_lat = Maps.newGeocoder().geocode(ciudad1).results[0].geometry.
location.lat;
12     // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo para
    // evitar saturacion de la funcion
14     Utilities.sleep(2000);
    // extrae longitud de la segunda ubicacion
16     var p2_lng = Maps.newGeocoder().geocode(ciudad2).results[0].geometry.
location.lng;

```



```

18 // extrae latitud de la segunda ubicacion
var p2_lat = Maps.newGeocoder().geocode(ciudad2).results[0].geometry.
    location.lat;
20 // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo para
// evitar saturacion de la funcion
Utilities.sleep(2000);
22
// transforma longitudes y latitudes a radianes
24 var lng1 = p1_lng * Math.PI/180;
var lat1 = p1_lat * Math.PI/180;
26 var lng2 = p2_lng * Math.PI/180;
var lat2 = p2_lat * Math.PI/180;
28
// calcula la diferencia de longitudes entre ambas ubicaciones
30 var dis_lng = (lng2 - lng1);
// calcula la diferencia de latitudes entre ambas ubicaciones
32 var dis_lat = (lat2 - lat1);
// define el radio de la tierra en kilometros
34 var R_tierra = 6371;
// ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo para
// evitar saturacion de la funcion
36 Utilities.sleep(2000);
38
// calcula la distancia entre las dos ubicaciones basandose en la
// formula de Haversine
40 var a = Math.sin(dis_lat/2) * Math.sin(dis_lat/2) + Math.sin(dis_lng/2)
    * Math.sin(dis_lng/2) * Math.cos(lat1) * Math.cos(lat2);
var c = 2 * Math.atan2(Math.sqrt(a), Math.sqrt(1-a));
42 return R_tierra * c;
}

```

Listing D.2: Código utilizado para estimar la distancia de la ruta óptima entre dos ciudades vía aérea.

D.3. Código utilizado para la estimación de la huella asociada al transporte de la comunidad universitaria hacia la FCFM

El siguiente código fue utilizado para estimar la distancia entre dos ubicaciones en automóvil, transporte público, bicicleta o a pie. La función creada se basa en la información que dispone *Google Maps* y fue implementada en el editor de secuencias de comando de *Google Sheets*.

```

1 /**
2  * Calcula la distancia entre dos puntos.
3  * @param direccion_inicio Direccion como string ej: "miradores 20360,
    Pudahuel"
4  * @param direccion_final Direccion como string ej: "Beauchef 851, Santiago
    "
5  * @param tipo_respuesta Respuesta que necesita como string ej: "auto"
6  * @customfunction
7  */

```

```

9 function GOOGLEMAPS_DISTANCIAS(direccion_inicio,direccion_final,
    tipo_respuesta) {
11 // accede a la funcion de Google Maps para encontrar indicaciones
    var mapObj = Maps.newDirectionFinder();
13 // establece el origen
    mapObj.setOrigin(direccion_inicio);
15 // establece el destino
    mapObj.setDestination(direccion_final);
17 // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de
    segundo para
    // evitar saturacion de la funcion
19 Utilities.sleep(2000);

21 switch(tipo_respuesta){
    case "auto":
23 // define el tipo de indicaciones que se espera obtener, en este
    // caso automovil
25 mapObj.setMode(Maps.DirectionFinder.Mode.DRIVING);
    var indicaciones1 = mapObj.getDirections();
27 // accede a la distancia en metros que entrega la ruta optima de
    Google Maps
    var m_auto = indicaciones1["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["
    value"];
29 // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo
    para
    // evitar saturacion de la funcion
31 Utilities.sleep(2000);
    //transforma la distancia a km y retorna
33 return m_auto * 0.001;
    break;

35 case "tpub":
37 // define el tipo de indicaciones que se espera obtener, en este
    // caso transporte p[U+FFFF]lico
39 mapObj.setMode(Maps.DirectionFinder.Mode.TRANSIT);
    var indicaciones2 = mapObj.getDirections();
41 // accede a la distancia en metros que entrega la ruta optima de
    Google Maps
    var m_tpub = indicaciones2["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["
    value"];
43 // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo
    para
    // evitar saturacion de la funcion
45 Utilities.sleep(2000);
    //transforma la distancia a km y retorna
47 return m_tpub * 0.001;
    break;

49 case "caminando":
51 // define el tipo de indicaciones que se espera obtener, en este
    // caso al caminar
53 mapObj.setMode(Maps.DirectionFinder.Mode.WALKING);
    var indicaciones3 = mapObj.getDirections();
55 // accede a la distancia en metros que entrega la ruta optima de
    Google Maps

```

```

57     var m_caminata = indicaciones3["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["
value"];
    // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo
para
    // evitar saturacion de la funcion
59     Utilities.sleep(2000);
    //transforma la distancia a km y retorna
61     return m_caminata * 0.001;
    break;
63
    case "bicicleta":
65     // define el tipo de indicaciones que se espera obtener, en este
// caso en bicicleta
67     mapObj.setMode(Maps.DirectionFinder.Mode.BICYCLING);
    var indicaciones4 = mapObj.getDirections();
69     // accede a la distancia en metros que entrega la ruta optima de
Google Maps
    var m_bicicleta = indicaciones4["routes"][0]["legs"][0]["distance"][
"value"];
71     // ralentiza el tiempo de ejecucion por 2000 milisimas de segundo
para
    // evitar saturacion de la funcion
73     Utilities.sleep(2000);
    //transforma la distancia a km y retorna
75     return m_bicicleta * 0.001;
    break;
77
    default:
79     // en caso de que tipo_respuesta no corresponda a una de las
alternativas anteriores, indica error
    return "Tipo de respuesta no valida";
81 }
83 }

```

Listing D.3: Código utilizado para estimar la distancia de la ruta óptima entre dos ubicaciones en automóvil, transporte público, bicicleta o a pie.

Anexo E

Encuesta Origen-Destino aplicada

A continuación, se adjuntan las preguntas que componen la encuesta Origen-Destino aplicada a la comunidad universitaria de la FCFM.



The image shows a screenshot of a survey introduction page. The title is "Encuesta Origen Destino FCFM". The text is in Spanish and explains the purpose of the survey, which is to estimate the carbon footprint of the university community and propose reduction options. It asks for an email address and provides a link to change the configuration.

Encuesta Origen Destino FCFM

Estimada comunidad,

La Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS) se encuentra en el proceso de cálculo de Huella de Carbono del año 2019 de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile.

A continuación le solicitamos contestar las siguientes preguntas que tienen como objetivo recopilar información necesaria para estimar la Huella de Carbono asociada al transporte de la comunidad universitaria y proponer opciones de reducción.

Desde ya agradecemos su tiempo y disposición.

Dirección de correo electrónico *

Dirección de correo electrónico válida

Este formulario recopila las direcciones de correo electrónico. [Cambiar configuración](#)

Figura E.1: Sección 1, introducción a la encuesta y pregunta 1.

¿A qué instalación viajó con mayor frecuencia durante el año 2019? *

La dirección de destino determinará la distancia que calcularemos para su huella de carbono. La opción que marque será el destino de su viaje para el resto de la encuesta, por lo tanto, cada vez aparezca "destino" corresponde a la instalación a la que suele viajar frecuentemente. En caso de no estar la dirección exacta a la que viajó marque la más cercana a su destino.

- FCFM - Beauchef 850-851
- IDIEM - Plaza Ercilla 833 / Otras dependencias de IDIEM
- NIC - Miraflores 222
- Astronomía - Cerro Calán

Figura E.2: Sección 1, pregunta 2.

¿Con qué género se siente más identificada/o? *

- Mujer
- Hombre
- Otro
- Prefiero no decir

Figura E.3: Sección 1, pregunta 3.

Indique su edad *

Texto de respuesta corta

Figura E.4: Sección 1, pregunta 4.

¿A qué estamento pertenece? *

- Estudiante pregrado
- Estudiante postgrado
- Estudiante educación continua (diplomados y cursos)
- Profesor/a jornada completa (22 hrs o más)
- Funcionaria/o contrata o planta
- Funcionaria/o honorario

Figura E.5: Sección 1, pregunta 5.

Hábitos de transporte hacia su destino ✕ ⋮

Ahora queremos conocer de qué forma se desplaza hacia su destino dentro de un año académico normal. Toda la información recopilada se utilizará solo para fines del cálculo de la huella de carbono de la facultad y posterior gestión de esta.

Recuerde que su destino corresponde a la opción que marcó al comienzo (FCFM, IDIEM, NIC o Astronomía).

Figura E.6: Sección 2, introducción a la sección.

Pensando en el año pasado (2019) ¿Durante cuántos meses viajó periódicamente hacia su destino? *

1. 1
2. 2
3. 3
4. 4
5. 5
6. 6
7. 7
8. 8
9. 9
10. 10
11. 11
12. 12

Figura E.7: Sección 2, pregunta 1.

⋮
Pensando en el año pasado (2019 ANTES del 18 de Octubre), en promedio ¿Cuántos días a la semana se movilizaba hacia su destino? *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Figura E.8: Sección 2, pregunta 2.

⋮

Pensando en el año pasado (2019 DESPUÉS del 18 de Octubre), en promedio ¿Cuántos días a la semana se movilizaba hacia su destino? *

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Figura E.9: Sección 2, pregunta 3.

Para poder estimar la huella necesitamos saber dónde vivía durante el año 2019. Por favor, seleccione la comuna en dónde se encontraba su domicilio. *

Si tu vivienda se encuentra en una comuna fuera de la RM, por favor selecciona "OTRA"

1. ALHUÉ
2. BUIN
3. CALERA DE TANGO
4. CERRILLOS
5. CERRO NAVIA
6. COLINA
7. CONCHALÍ
8. CURACAVÍ
9. EL BOSQUE
10. EL MONTE
11. ESTACIÓN CENTRAL

Figura E.10: Sección 2, pregunta 4.

La pregunta anterior daba la opción de que el usuario escogiese entre las 52 comunas de la región metropolitana o bien, que seleccionase la opción “Otra”.

Si marcó "OTRA", escriba a continuación el nombre de la comuna. Si marcó una comuna de la RM no conteste esta pregunta.

Texto de respuesta corta

Figura E.11: Sección 2, pregunta 5.

Por favor, a continuación seleccione de qué forma prefiere indicar la dirección de su domicilio en * el año 2019.

Dirección exacta (Calle - Número)

Dirección de referencia (Punto de referencia)

Figura E.12: Sección 2, pregunta 6.

La siguiente sección era exclusiva para quienes contestaron “Dirección exacta (Calle-Número)” en la pregunta 6 de la sección anterior (Figura E.12).

Dirección exacta (Calle - Número) × ⋮

Descripción (opcional)

Figura E.13: Sección 3.1, título de la sección.

Indique SOLO el nombre de su calle *

Texto de respuesta corta

Figura E.14: Sección 3.1, pregunta 1.

Indique SOLO el número de su domicilio (en caso de ser edificio no coloque el número de departamento, solo del edificio) *

Texto de respuesta corta

Figura E.15: Sección 3.1, pregunta 2.

Pensando en el 2019, si tuviese que elegir el o los medio(s) de transporte que utilizaba con mayor preponderancia en su viaje (hacia su destino) ¿Cuál(es) sería(n)? ¿Qué porcentaje de uso (pensando en distancia recorrida) en su viaje le asignaría a cada uno?

Si considera que utiliza solo un medio de transporte por favor selecciónelo y asígnele un 100% de uso. En caso de que crea que su viaje se representa de mejor forma por dos o más medios de transporte, procure que la suma de los porcentajes asignados sea 100%.

	25%	50%	75%	100%
Caminata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bicicleta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Micro/Bus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metro/Metro-Tren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motocicleta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto convencional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto híbrido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto eléctrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Scooter eléctrico o ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taxi o Colectivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uber, Cabify, Didi u ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura E.16: Sección 3.1, pregunta 3.

En caso de que use cualquier tipo de automóvil ¿Cuántas personas comparten vehículo con usted durante el viaje? (independientemente de quién maneje)

Texto de respuesta corta

Figura E.17: Sección 3.1, pregunta 4.

La siguiente sección era exclusiva para quienes contestaron “Dirección de referencia (Punto de referencia)” en la pregunta 6 de la sección anterior (Figura E.12).

Dirección de referencia (Punto de referencia)

Descripción (opcional)

Figura E.18: Sección 3.2, título de la sección.

Por favor, indique un punto de referencia que se encuentre dentro de un radio de aproximadamente 1 km desde su domicilio y dentro de su comuna. *

Por ejemplo: Torre Entel, Villa el Abrazo, Colegio Alicante, etc. También puede indicar alguna dirección exacta (calle y número) que se encuentre cerca de su domicilio.

Texto de respuesta corta

Figura E.19: Sección 3.2, pregunta 1.

⋮

Pensando en el 2019, si tuviese que elegir el o los medio(s) de transporte que utilizaba con mayor preponderancia en su viaje (hacia su destino) ¿Cuál(es) sería(n)? ¿Qué porcentaje de uso (pensando en distancia recorrida) en su viaje le asignaría a cada uno?

Si considera que utiliza solo un medio de transporte por favor selecciónelo y asígnele un 100% de uso. En caso de que crea que su viaje se representa de mejor forma por dos o más medios de transporte, procure que la suma de los porcentajes asignados sea 100%.

	25%	50%	75%	100%
Caminata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bicicleta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Micro/Bus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metro/Metro-Tren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motocicleta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto convencional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto híbrido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auto eléctrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Scooter eléctrico o ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taxi o Colectivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uber, Cabify, Didi u ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura E.20: Sección 3.2, pregunta 2.

En caso de que use cualquier tipo de automóvil ¿Cuántas personas comparten vehículo con usted durante el viaje? (independientemente de quién maneje)

Texto de respuesta corta

.....

Figura E.21: Sección 3.2, pregunta 3.

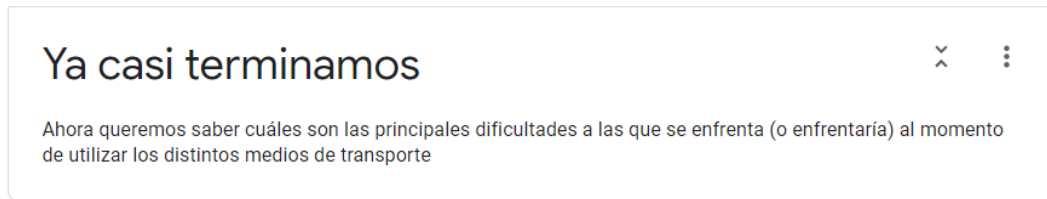


Figura E.22: Sección 4, título de la sección.

La siguiente sección tenía como objetivo identificar las barreras asociadas al transporte que enfrenta la comunidad universitaria.

Si NO utiliza TRANSPORTE PÚBLICO ¿Cuáles serían las principales razones que tiene para NO trasladarse hacia/desde su destino en él? (seleccione máximo 3)

En caso de que SI LO UTILICE responda ¿Cuáles son las principales dificultades que experimenta durante su viaje? Si no evidencia dificultades, puede seleccionar la casilla "Ninguna"

- Ninguna
- Falta de recorridos
- Poca frecuencia
- Tiempo de viaje excesivo
- Inseguridad
- Incomodidad
- Otra...

This screenshot shows a survey question with a title 'Si NO utiliza TRANSPORTE PÚBLICO ¿Cuáles serían las principales razones que tiene para NO trasladarse hacia/desde su destino en él? (seleccione máximo 3)'. Below the title is a subtitle 'En caso de que SI LO UTILICE responda ¿Cuáles son las principales dificultades que experimenta durante su viaje? Si no evidencia dificultades, puede seleccionar la casilla "Ninguna"'. The question is followed by a list of seven options, each with an unchecked checkbox: 'Ninguna', 'Falta de recorridos', 'Poca frecuencia', 'Tiempo de viaje excesivo', 'Inseguridad', 'Incomodidad', and 'Otra...'. There is a red asterisk in the top right corner.

Figura E.23: Sección 4, pregunta 1.

Si NO utiliza BICICLETA ¿Cuáles serían las principales razones que tiene para NO trasladarse hacia/desde su destino en ella? (seleccione máximo 3) *

En caso de que SI LA UTILICE responda ¿Cuáles son las principales dificultades que experimenta durante su viaje? Si no evidencia dificultades, puede seleccionar la casilla "Ninguna"

- Ninguna
- Largas distancias
- Esfuerzo físico
- Tener que ducharse en la facultad después del viaje
- No tener acceso a una bicicleta
- Riesgo de robo de bicicleta durante el trayecto
- Riesgo de robo de bicicleta en el bicicletero
- Falta de bicicleteros en la facultad
- Falta de seguridad en los bicicleteros de la Facultad
- Falta de ciclovías en tu trayecto
- Riesgo de accidente y seguridad en la ruta
- No saber andar en bicicleta
- Otra...

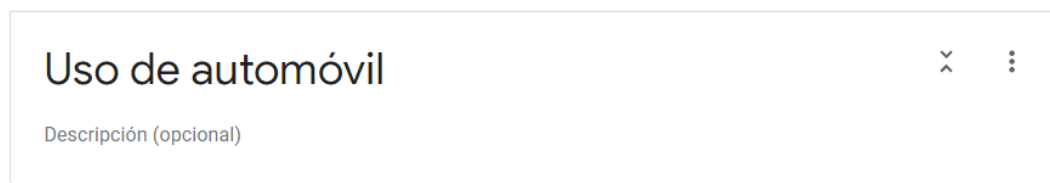
Figura E.24: Sección 4, pregunta 2.

¿Tiene automóvil propio o disponible para transportarse hacia su destino? (no importa si lo ocupa o no) *

- Sí
- No

Figura E.25: Sección 4, pregunta 3.

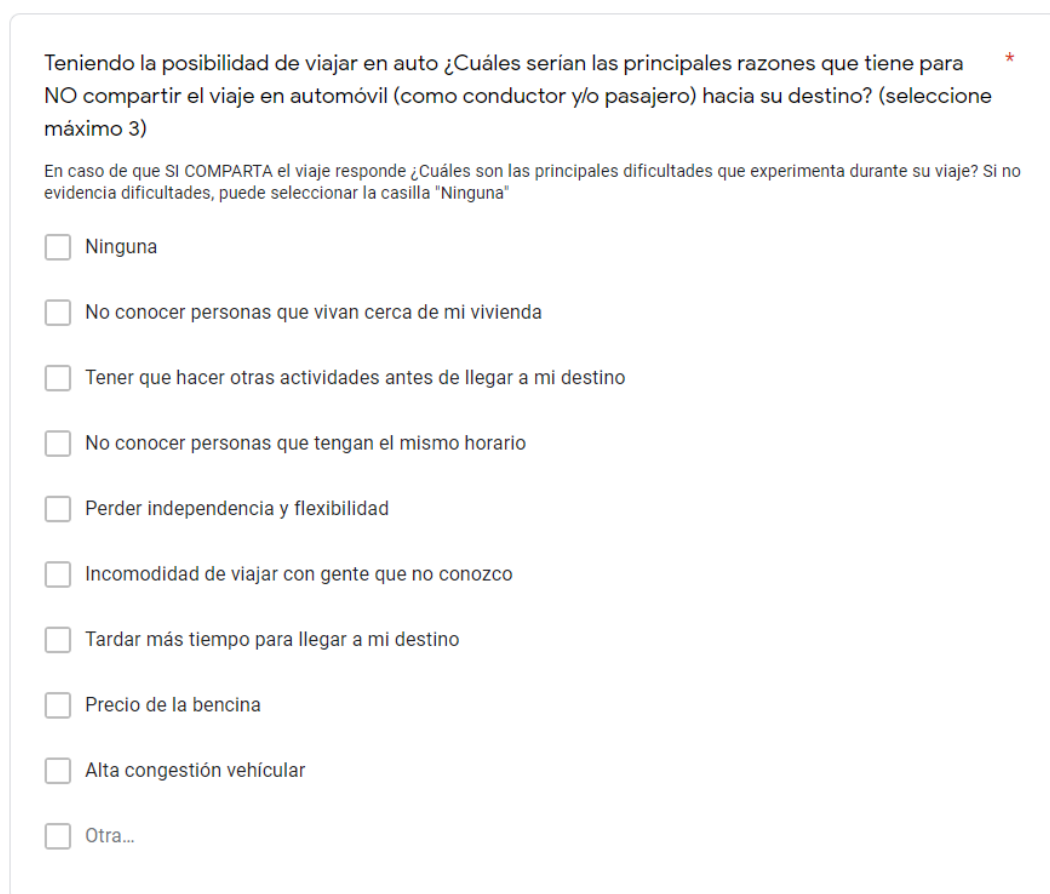
La siguiente sección es exclusiva para quienes contestaron “Si” en la pregunta 3 de la sección anterior (Figura E.25).



Uso de automóvil

Descripción (opcional)

Figura E.26: Sección 5, título de la sección.



Teniendo la posibilidad de viajar en auto ¿Cuáles serían las principales razones que tiene para NO compartir el viaje en automóvil (como conductor y/o pasajero) hacia su destino? (seleccione máximo 3) *

En caso de que SI COMPARTA el viaje responde ¿Cuáles son las principales dificultades que experimenta durante su viaje? Si no evidencia dificultades, puede seleccionar la casilla "Ninguna"

- Ninguna
- No conocer personas que vivan cerca de mi vivienda
- Tener que hacer otras actividades antes de llegar a mi destino
- No conocer personas que tengan el mismo horario
- Perder independencia y flexibilidad
- Incomodidad de viajar con gente que no conozco
- Tardar más tiempo para llegar a mi destino
- Precio de la bencina
- Alta congestión vehicular
- Otra...

Figura E.27: Sección 5, pregunta 1.

Muchas gracias por contestar!



Muchas gracias por su tiempo. Con su información nos ha ayudado a tener mejor precisión en nuestros cálculos de Huella de Carbono.

Queremos que este cálculo sea una fuente de información para impulsar a la comunidad a participar de un campus más sustentable. Si tiene cualquier comentario o sugerencia puede enviar un correo a sustentabilidad@ing.uchile.cl o dejarlo en la casilla que aparece más abajo. Recuérdale a tus compañeros/as que contesten la encuesta.

Nuevamente muchas gracias, saludos!

Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, FCFM - UChile.

Figura E.28: Sección 6, título de la sección.

E.1. Principales resultados encuesta Origen-Destino

E.1.1. Caracterización de la muestra encuestada

Con respecto al total de la muestra destaca la población de estudiantes de pregrado y en segundo lugar las/os funcionaria/o contrata o planta.

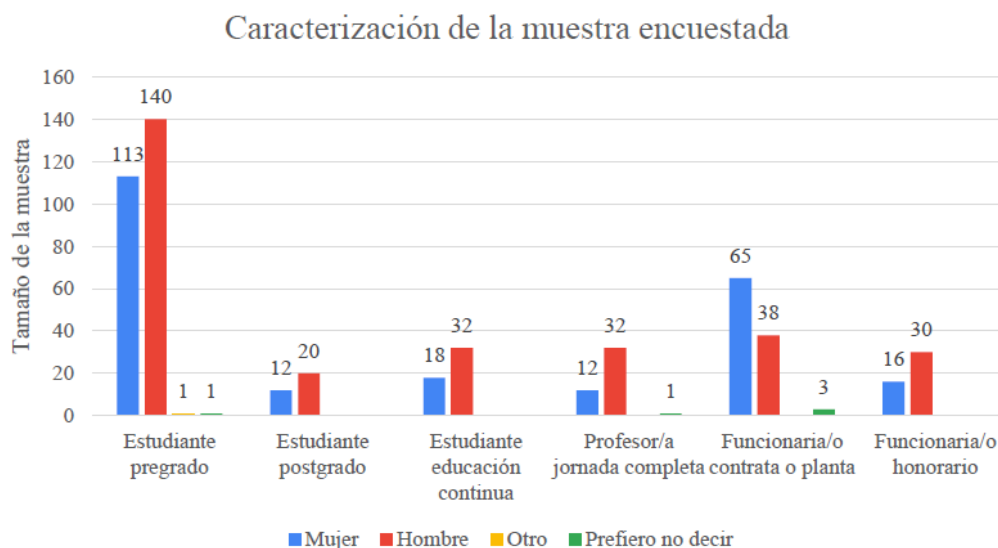


Figura E.29: Caracterización de la muestra encuestada.

E.1.2. Hábitos de transporte

La mayor parte de los estamentos viajó en promedio entre 8 y 12 meses hacia la facultad.

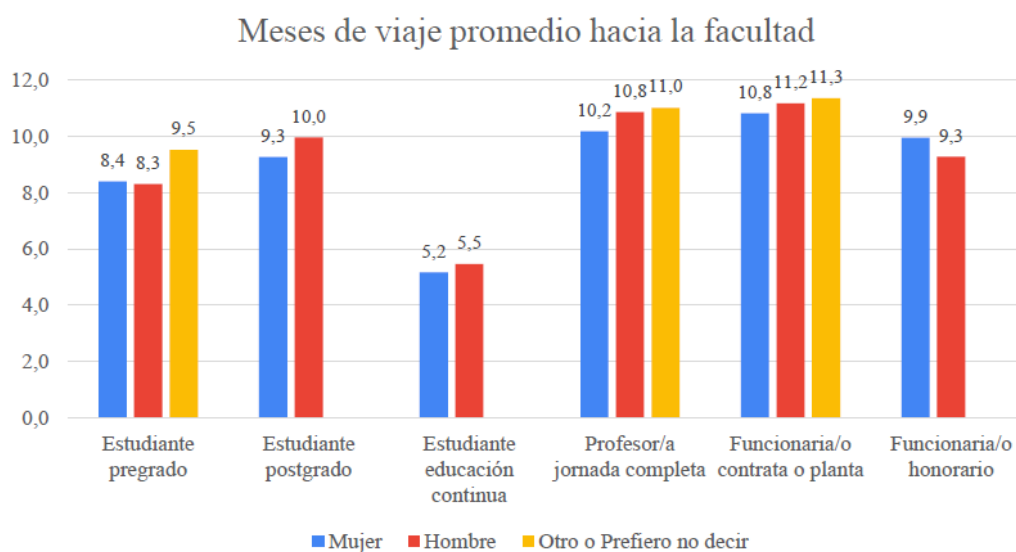


Figura E.30: Meses de viaje promedio hacia la facultad durante el 2019.

En todos los estamentos se evidenció una disminución en la cantidad de días a la semana que se viajó hacia la facultad. La diferencia fue menor para académicas/os y funcionarias/os.

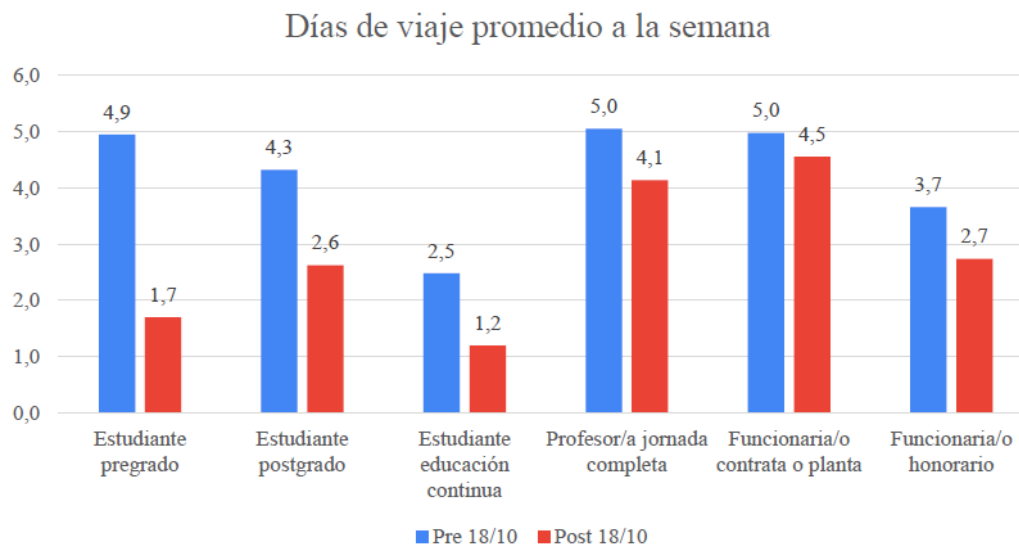


Figura E.31: Días de viaje promedio hacia la facultad pre y post 18 de octubre del 2019.

Al analizar las respuestas según identidad de género es posible notar que el transporte público se posiciona como la alternativa más utilizada, seguida del uso de auto convencional.

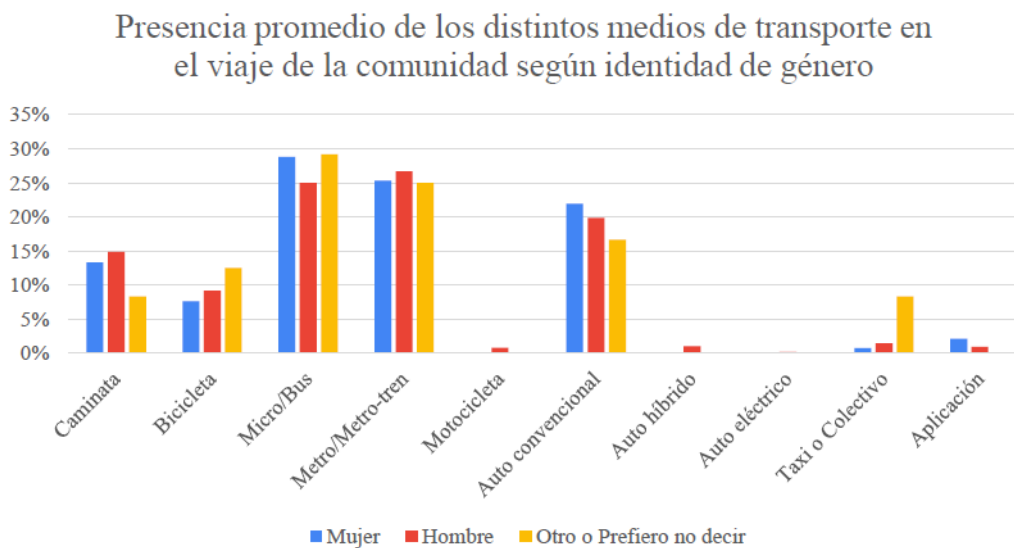


Figura E.32: Uso promedio de los distintos medios de transporte según identidad de género.

Al realizar el mismo análisis pero según el estamento es posible notar que quienes más utilizan transporte público son los estudiantes de pregrado y postgrado. El uso de auto convencional se distribuye entre estudiantes de educación continua, académicas/os y funcionarias/os.

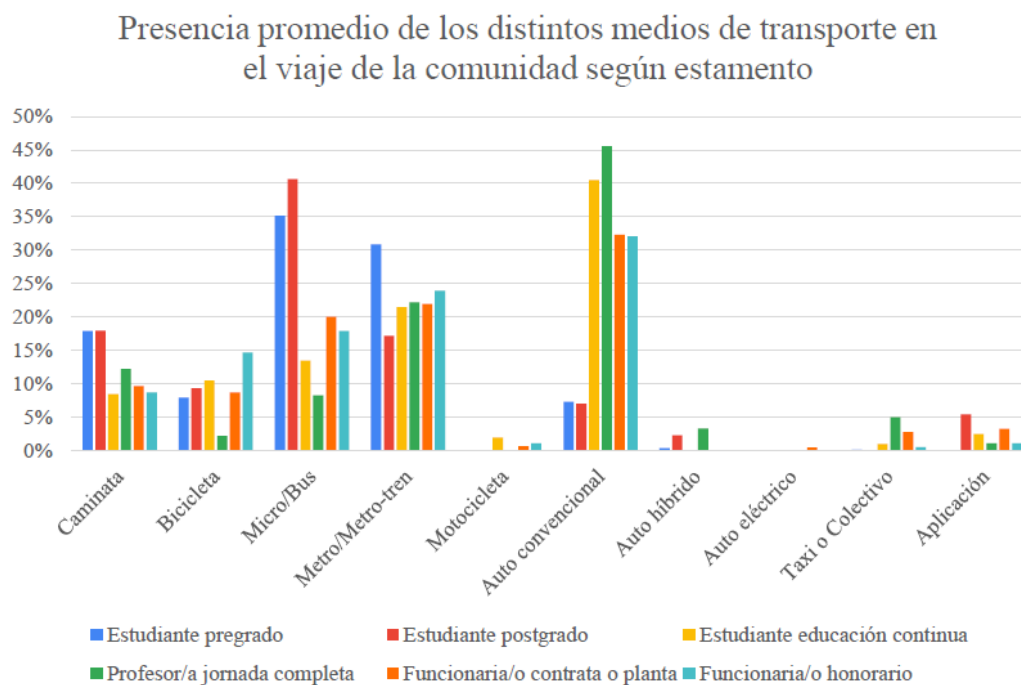


Figura E.33: Uso promedio de los distintos medios de transporte según estamento.

Anexo F

Procesamiento datos recopilados encuesta

A partir de la encuesta Origen-Destino aplicada a la comunidad universitaria de la FCFM fue posible recopilar 534 respuestas. Para el cálculo de las emisiones asociadas al transporte de la comunidad los resultados de la encuesta fueron procesados y ordenados. Con cada dirección se estimó la distancia de la ruta óptima que existe hacia la facultad utilizando la función presentada en el Anexo D.3. La información utilizada fue la siguiente.

- Meses que viajó periódicamente hacia la facultad durante el 2019 (incluye viajes hacia edificio república).
- Días a la semana que viajó hacia la facultad antes del 18 de octubre del 2019.
- Días a la semana que viajó hacia la facultad después del 18 de octubre.
- Dirección de origen (Calle y Número o Punto de referencia, Comuna, País).
- Porcentaje de uso de cada medio de transporte durante su viaje.
- Número de personas con quien comparte vehículo (en caso de transportarse en vehículos motorizados).
- Distancias desde punto de origen hacia facultad.

Para mejorar el entendimiento del procesamiento de datos, se presentan 4 ejemplos (para el análisis completo visitar el archivo adjunto *Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm*). Las Tablas F.1, F.2 y F.3 exponen la información utilizada. Notar que solo se presenta el porcentaje de uso y distancias de las modalidades de transporte asociadas a estos casos y que la primera fila de cada tabla representa la columna de la hoja de datos.

Tabla F.1: Casos 1, 2, 3 y 4. Meses y días que viajaron hacia la facultad durante el 2019.

A	B	C	D
Caso	Meses que viaja periódicamente hacia la facultad	Días que viaja a la facultad (pre 18/10)	Días que viaja a la facultad (post 18/10)
1	11	5	4
2	7	5	0
3	8	5	1
4	11	2	0

Tabla F.2: Casos 1, 2, 3 y 4. Caracterización del traslado diario personal.

A	E	F	G	H	I
Caso	Caminata	Micro o Bus	Metro o Metro-Tren	Auto Convencional	N° de personas con quien comparte vehículo
1	100 %				N/A
2	25 %		75 %		N/A
3		25 %		75 %	1
4		50 %		50 %	2

Tabla F.3: Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia desde punto de origen hacia la facultad.

A	J	K	L	M
Distancias desde punto de origen hasta facultad <i>km</i>				
Caso	Dirección de origen	Caminando	Transporte Público	Auto
1	José Miguel Carrera, Santiago, Chile	14,4	16,0	20,0
2	Richard pallas, Conchalí, Chile	9,8	13,0	15,0
3	Miradores, Pudahuel, Chile	33,5	22,6	26,7
4	Tobalaba, La Florida, Chile	14,3	16,2	24,1

Con la información presentada en las tablas anteriores se procede a estimar la distancia recorrida para el año 2019 antes del 18 de octubre en cada medio de transporte (ver Tabla F.4).

Tabla F.4: Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia total recorrida pre 18 de octubre.

A	N	O	P	Q
Distancia recorrida pre 18 de octubre 2019 <i>km</i>				
Caso	Caminata	Micro o Bus	Metro o Metro-Tren	Auto convencional
1	3.088,7	-	-	-
2	367,3	-	1.470,3	-
3	-	850,8	-	1.509,4
4	-	698,1	-	344,8

A modo de ejemplo, la Figura F.1 presenta un diagrama explicativo de la función correspondiente a la celda P2 para estimar la distancia recorrida en Metro o Metro-Tren por la persona asociada al caso 2. Cabe mencionar que el valor de 4,3 presente en la fórmula correspondiente a la cantidad de semanas promedio que tiene un mes.

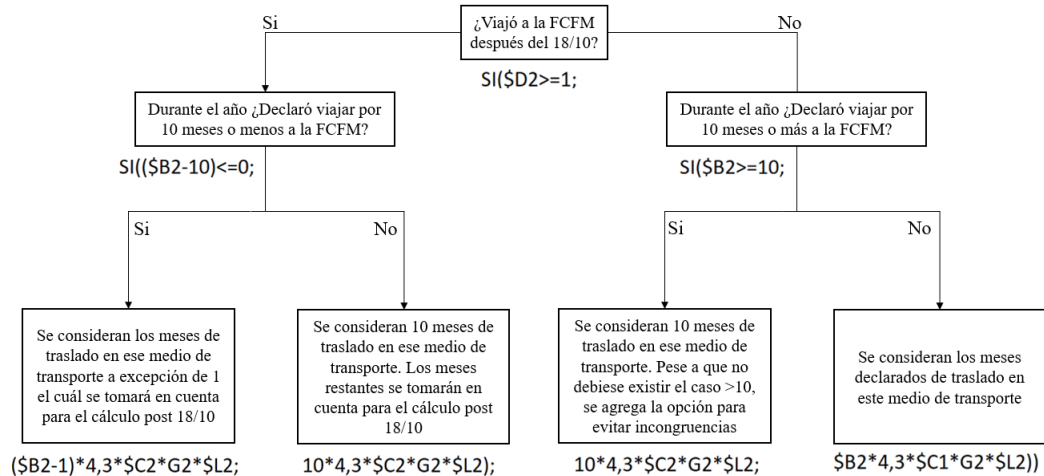


Figura F.1: Explicación de funciones utilizadas para estimar las distancias totales recorridas para el 2019 antes del 18 de octubre.

Aplicando la misma lógica para las demás situaciones se obtienen los valores presentados en la Tabla F.4. Notar que tanto para los cálculos de Micro o Bus como los de Metro o Metro-Tren se utiliza la distancia asociada a transporte público (columna L). Además, para el caso del transporte en cualquier tipo de vehículo particular, el resultado se dividió por el número de pasajeros que comparten vehículo, obteniéndose la distancia promedio recorrida por persona.

A continuación se presentan los resultados para los casos 1, 2, 3 y 4 post 18 de octubre.

Tabla F.5: Casos 1, 2, 3 y 4. Distancia total recorrida post 18 de octubre.

A	R	S	T	U
Distancia recorrida post 18 de octubre 2019 <i>km</i>				
Caso	Caminata	Micro o Bus	Metro o Metro-Tren	Auto convencional
1	247,1	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	24,3	-	43,1
4	-	-	-	-

A modo de ejemplo, la Figura F.2 presenta un diagrama explicativo de la función correspondiente a la celda S3 para estimar la distancia recorrida en Micro o Bus por la persona asociada al caso 3.

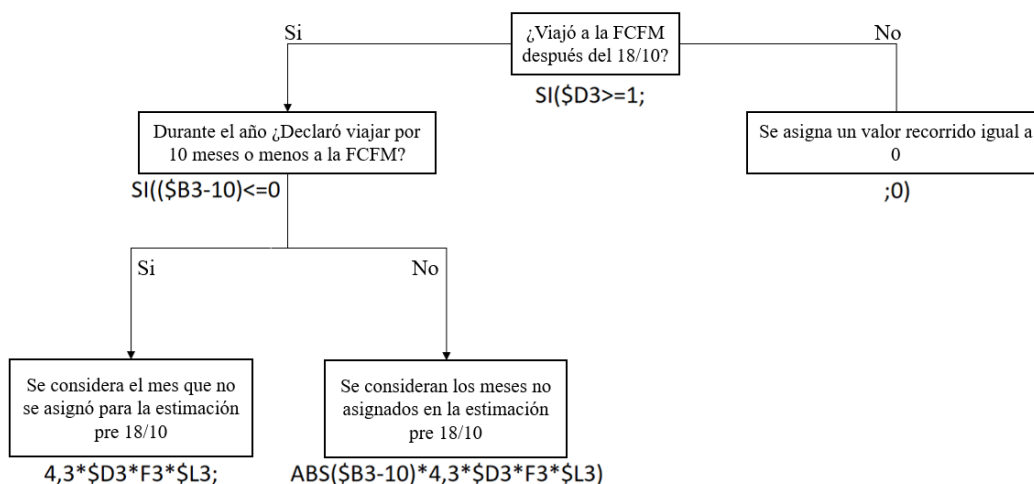


Figura F.2: Explicación de funciones utilizadas para estimar las distancias totales recorridas para el 2019 después del 18 de octubre.

Siguiendo el mismo procedimiento en el resto de las situaciones y tomando las mismas consideraciones que en el caso pre 18/10, se obtienen los datos presentados en la Tabla F.5.

El mismo procedimiento se llevó a cabo para las 534 respuestas. Las Tablas F.6, F.7 y F.8 presentan los resultados de las distancias totales recorridas (pre y post 18/10) por cada estamento.

Tabla F.6: Distancia total recorrida por estamento 1/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019)				
Estamento	Bicicleta	Caminata	Micro/Bus	Metro/ Metro-tren
Estudiante pregrado	23.307	30.896	242.091	181.424
Estudiante postgrado	2.876	2.398	19.722	8.111
Estudiante educación continua	6.798	1.041	8.879	12.015
Profesor/a jornada completa	973	6.422	10.622	24.135
Funcionaria/o contrata o planta	14.990	26.706	77.738	70.274
Funcionaria/o honorario	6.983	4.935	17.844	20.718

Tabla F.7: Distancia total recorrida por estamento 2/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019)				
Estamento	Motocicleta	Auto convencional	Auto híbrido	Auto eléctrico
Estudiante pregrado	0	23.052	1.068	0
Estudiante postgrado	0	3.180	1.987	0
Estudiante educación continua	394	10.611	0	0
Profesor/a jornada completa	0	40.071	2.023	0
Funcionaria/o contrata o planta	1.159	71.281	0	836
Funcionaria/o honorario	647	24.637	0	0

Tabla F.8: Distancia total recorrida por estamento 3/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019)		
Estamento	Taxi o Colectivo	Uber, Cabify, Didi u otra aplicación
Estudiante pregrado	474	449
Estudiante postgrado	0	778
Estudiante educación continua	537	130
Profesor/a jornada completa	2.806	1.108
Funcionaria/o contrata o planta	7.240	4.648
Funcionaria/o honorario	218	281

Una vez que se tienen las respuestas por estamento, se utilizan factores de expansión (Tabla F.9) para estimar los resultados de toda la población de la FCFM.

Tabla F.9: Factores de expansión.

Estamento	Muestra	Funcionarios académicos	Factor de expansión
Estudiante pregrado	255	5.442	21,34
Estudiante postgrado	32	1.482	46,31
Estudiante educación continua	50	2.035	40,70
Profesor/a jornada completa	45	274	6,09
Funcionaria/o contrata o planta	106	1.088	10,26
Funcionaria/o honorario	46	2.661	57,85

Para establecer la representatividad de la encuesta, se realiza un análisis para calcular el error asociado a la muestra. Esto se hace estimando según la siguiente ecuación.

$$e = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{n} - Z^2 \cdot p \cdot q \quad (F.1)$$

En donde:

- e : error de la muestra.
- n : tamaño de la muestra.
- N : tamaño de la población.
- Z : parámetro estadístico que depende del nivel de confianza requerido, en este caso 1,96 para un nivel de confianza del 95 %.
- p : probabilidad de que ocurra el evento, en este caso se asume 0,5.
- q : probabilidad de que no ocurra el evento, en este caso se asume 0,5.

La Tabla F.10 presenta el error asociado a la muestra de cada estamento.

Tabla F.10: Errores asociados al tamaño de la muestra.

Estamento	n	N	e
Estudiante pregrado	255	5.442	6 %
Estudiante postgrado	32	1.482	17 %
Estudiante educación continua	50	2.035	14 %
Profesor/a jornada completa	45	274	13 %
Funcionaria/o contrata o planta	106	1.088	9 %
Funcionaria/o honorario	46	2.661	14 %

Finalmente, los resultados presentados en las Tablas F.6, F.7 y F.8 son ponderados por su respectivo factor de expansión y multiplicados por 2 (viaje ida y vuelta) para obtener los resultados finales en cuanto a la distancia recorrida por cada estamento de la FCFM durante el año 2019.

Tabla F.11: Distancia total recorrida por estamento expandida 1/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019) muestra expandida (ida y vuelta)				
Estamento	Bicicleta	Caminata	Micro/Bus	Metro/ Metro-tren
Estudiante pregrado	994.801	1.318.706	10.333.029	7.743.598
Estudiante postgrado	266.379	222.119	1.826.779	751.318
Estudiante educación continua	553.332	84.772	722.765	977.991
Profesor/a jornada completa	11.848	78.208	129.356	293.914
Funcionaria/o contrata o planta	307.729	548.219	1.595.830	1.442.611
Funcionaria/o honorario	807.932	570.982	2.064.501	2.397.015
Total	2.942.021	2.823.005	16.672.260	13.606.447

Tabla F.12: Distancia total recorrida por estamento expandida 2/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019) muestra expandida (ida y vuelta)				
Estamento	Motocicleta	Auto convencional	Auto híbrido	Auto eléctrico
Estudiante pregrado	0	983.929	45.571	0
Estudiante postgrado	0	294.551	184.082	0
Estudiante educación continua	32.086	863.775	0	0
Profesor/a jornada completa	0	487.979	24.635	0
Funcionaria/o contrata o planta	23.801	1.463.282	0	17.156
Funcionaria/o honorario	74.877	2.850.400	0	0
Total	130.764	6.943.915	254.289	17.156

Tabla F.13: Distancia total recorrida por estamento expandida 3/3.

Distancia total <i>km</i> recorrida por estamentos para cada medio de transporte (2019) muestra expandida (ida y vuelta)		
Estamento	Taxi o Colectivo	Uber, Cabify, Didi u otra aplicación
Estudiante pregrado	20.250	19.159
Estudiante postgrado	0	72.018
Estudiante educación continua	43.747	10.549
Profesor/a jornada completa	34.171	13.490
Funcionaria/o contrata o planta	148.622	95.406
Funcionaria/o honorario	25.205	32.457
Total	271.995	243.080

Los resultados recién expuestos son los utilizados en el Anexo B.3.4 para estimar la huella asociada al transporte de la comunidad universitaria.

Anexo G

Encuesta Origen-Destino Huella Chile

La Figura G.1 presenta la encuesta Origen-Destino propuesta por Huella Chile disponible en su “manual de usuario del registro de emisiones y transferencia de contaminantes” [53].

Encuesta Transporte Diario de Personas

Nombre y Logo de la Organización

En esta organización estamos comprometidos con calcular nuestras emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, la Huella de Carbono corporativa. Esta información permitirá evaluar e implementar acciones de reducción de GEI de la organización.

Para completar este cálculo es necesario conocer las emisiones de GEI asociadas al transporte de los trabajadores. Por esta razón, lo invitamos a colaborar contestando estas simples preguntas.

Comuna o ciudad de procedencia: _____

¿Qué medio(s) de transporte utiliza generalmente para llegar a su lugar de trabajo?

- Indique la distancia – si la conoce – o sólo marque con una X

Distancia de ida [km]	Medio de transporte
_____	Vehículos particulares compactos
_____	Vehículos particulares medianos
_____	Vehículos particulares grandes
_____	Van
_____	Taxis colectivos
_____	Motocicletas
_____	Metro
_____	Buses
_____	Caminando o bicicleta
_____	Otros (indicar)

Si marcó vehículo particular, indique cuántas personas viajaron con usted:

0 1 2 3 4 o más

¡¡Muchas gracias por su colaboración!!

Comentarios y Sugerencias:

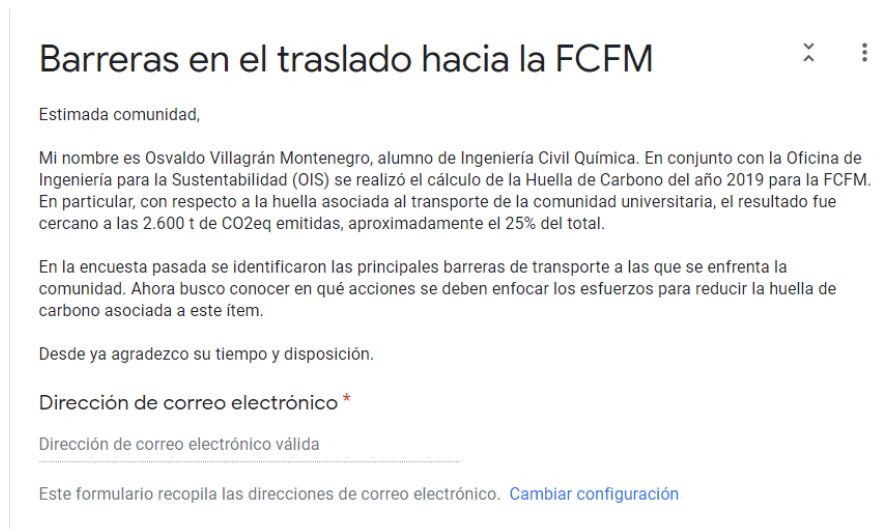
Figura G.1: Encuesta Origen-Destino Huella Chile.

Anexo H

Encuesta barreras de transporte

H.1. Preguntas

A continuación se presenta la encuesta realizada a parte de la comunidad universitaria con el objetivo de identificar las principales barreras que existen al momento de transportarse hacia la FCFM. Además, se incluye una sección asociada al caso hipotético de la implementación de una aplicación móvil para el cálculo y reporte de emisiones.



Barreras en el traslado hacia la FCFM

Estimada comunidad,

Mi nombre es Osvaldo Villagrán Montenegro, alumno de Ingeniería Civil Química. En conjunto con la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS) se realizó el cálculo de la Huella de Carbono del año 2019 para la FCFM. En particular, con respecto a la huella asociada al transporte de la comunidad universitaria, el resultado fue cercano a las 2.600 t de CO₂eq emitidas, aproximadamente el 25% del total.

En la encuesta pasada se identificaron las principales barreras de transporte a las que se enfrenta la comunidad. Ahora busco conocer en qué acciones se deben enfocar los esfuerzos para reducir la huella de carbono asociada a este ítem.

Desde ya agradezco su tiempo y disposición.

Dirección de correo electrónico *

Dirección de correo electrónico válida

Este formulario recopila las direcciones de correo electrónico. [Cambiar configuración](#)

Figura H.1: Introducción a la encuesta y pregunta 1.

¿Con qué genero se siente más identificada/o? *

- Mujer
- Hombre
- Otro
- Prefiero no decir

Figura H.2: Sección 1, pregunta 2.

¿A qué estamento pertenece? *

- Estudiante pregrado
- Estudiante postgrado
- Estudiante educación continua (diplomados y cursos)
- Profesor/a jornada completa (22 hrs o más)
- Profesor/a jornada parcial (22 hrs o menos)
- Funcionaria/o contrata o planta
- Funcionaria/o honorario

Figura H.3: Sección 1, pregunta 3.

Con respecto al uso de BICICLETA, seleccione la opción que más la/lo identifique. *

- El 100% de mis viajes hacia la facultad los realizo ocupando SÓLO bicicleta
- Ocupo bicicleta en el 100% de mis viajes hacia la facultad pero sólo en UNA PARTE del trayecto
- Ocupo bicicleta en algunos de mis viajes, ya sea en todo el trayecto o en parte de él
- Nunca ocupo bicicleta en mi traslado hacia la facultad

Figura H.4: Sección 1. pregunta 4.

La siguiente sección es exclusiva para quienes contestaron “El 100 % de mis viajes hacia la facultad los realizo ocupando sólo bicicleta” en la pregunta 4 de la sección anterior (Figura H.4).

Uso de bicicleta

Descripción (opcional)

Frente a los siguientes casos hipotéticos, por favor, indique el NIVEL DE RELEVANCIA que cree que tendría la BICICLETA en sus viajes hacia la facultad.

Si el caso presentado es una realidad para usted, por favor no responda la pregunta.

Figura H.5: Sección 2, título e introducción.

1. Si tuviese acceso a una bicicleta...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

2. Si tuviese más tiempo que el actual para ducharme en la facultad después del viaje...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

3. Si todo mi trayecto lo pudiese realizar por ciclovías...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

Figura H.6: Sección 2, preguntas 1, 2 y 3.

4. Si no existiese riesgo de accidente al movilizarme...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

5. Si me demorase un tiempo prudente en llegar a la FCFM...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

6. Si la distancia que debo recorrer fuese prudente...

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

Figura H.7: Sección 2, preguntas 4, 5 y 6.

⋮

7. ¿Existe otra situación que cree que tendría como efecto un aumento en su uso de BICICLETA al transportarse hacia la FCFM? ¿Cuál?

Texto de respuesta corta _____

8. Si respondió la pregunta anterior, indique el efecto en su uso de la bicicleta si se cumpliera dicho escenario.

1 2 3 4 5 6

No usaría la bicicleta en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por la bicicleta

Figura H.8: Sección 2, preguntas 7 y 8.

Uso de Transporte Público

✕ ⋮

Descripción (opcional)

Con respecto al uso de TRANSPORTE PÚBLICO, seleccione la opción que más la/lo identifique. *

- El 100% de mis viajes hacia la facultad los realizo ocupando SÓLO transporte público
- Ocupo transporte público en el 100% de mis viajes hacia la facultad pero sólo en UNA PARTE del trayecto
- Ocupo transporte público en algunos de mis viajes, ya sea en todo el trayecto o en parte de él
- Nunca ocupo transporte público en mi traslado hacia la facultad

Figura H.9: Sección 3, título de la sección y pregunta 1.

La siguiente sección es exclusiva para quienes contestaron “El 100 % de mis viajes hacia la facultad los realizo ocupando sólo transporte público” en la pregunta 4 de la sección anterior (Figura H.9).

Uso de transporte público

✕ ⋮

Descripción (opcional)

Frente a los siguientes casos hipotéticos, por favor, indique el NIVEL DE RELEVANCIA que cree que tendría el TRANSPORTE PÚBLICO en sus viajes hacia la facultad.

Si el caso presentado es una realidad para usted, por favor no responda la pregunta.

Figura H.10: Sección 4, título e introducción.

1. Si el tiempo de viaje fuese aceptable...

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

2. Si la frecuencia del metro y las micros que me sirven fuese alta...

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

3. Si me sintiese más segura/o durante el viaje...

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

Figura H.11: Sección 4, preguntas 1, 2 y 3.

4. Si me sintiese más cómoda/o durante el viaje...

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

5. Si la distancia que debo recorrer fuese prudente...

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

Figura H.12: Sección 4, preguntas 4 y 5.

6. ¿Existe otra situación que cree que tendría como efecto un aumento en su uso de TRANSPORTE PÚBLICO al transportarse hacia la FCFM? ¿Cuál?


Texto de respuesta corta

7. Si respondió la pregunta anterior, indique el efecto en su uso de transporte público si se cumpliera dicho escenario.

1 2 3 4 5 6

No usaría transporte público en mi viaje El 100% de mi transporte hacia la facultad se vería representado por transporte público

Figura H.13: Sección 4, preguntas 6 y 7.

Automóvil  ✕ ⋮

Descripción (opcional)

¿Tiene automóvil propio o disponible para transportarse hacia la FCFM? (no importa si lo ocupa * o no)

Sí

No

Si su respuesta fue "Sí" ¿Comparte el automóvil con personas (fuera de con quienes viven con usted) para trasladarse a la FCFM?

Sí

No

Figura H.14: Sección 5, título de la sección y preguntas 1 y 2.

La siguiente sección es exclusiva para quienes contestaron “No” en la pregunta 2 de la sección anterior (Figura H.14).

Uso de automóvil

Descripción (opcional)

De la siguiente lista, por favor seleccione las opciones que considera NECESARIAS para sentirse * más cómoda/o compartiendo su viaje en automóvil.

- Conocer a más personas de la FCFM que vivan cerca de mi vivienda
- Conocer a más personas de la FCFM que tengan el mismo horario que yo
- Mantener mi nivel de independencia y flexibilidad horaria pese a compartir vehículo
- Repartir los costos asociados por quienes por quienes compartimos vehículo
- Ninguna situación haría que me sintiese cómoda/o compartiendo mi viaje en automóvil

Otra

Texto de respuesta corta

Figura H.15: Sección 6, título y preguntas 1 y 2.

Ultima pregunta

Descripción (opcional)

Con el uso de una aplicación que permitiese estimar periódicamente su huella de carbono * asociada al transporte y otras actividades que conlleven emisiones de GEI ¿Cree que tendría un efecto positivo en la disminución de su huella?

- Si
- No

Si su respuesta fue "Si" ¿Cree que sería beneficioso que en esta aplicación se transparentaran las emisiones de la FCFM?

- Si
- No

Figura H.16: Sección 7, título y preguntas 1 y 2.



Figura H.17: Sección 8.

H.2. Principales resultados

H.2.1. Caracterización de la muestra

Gracias a la aplicación de la encuesta presentada, se lograron recopilar 155 respuestas. La distribución de la muestra según estamento e identidad de género se presenta en la Figura H.18.

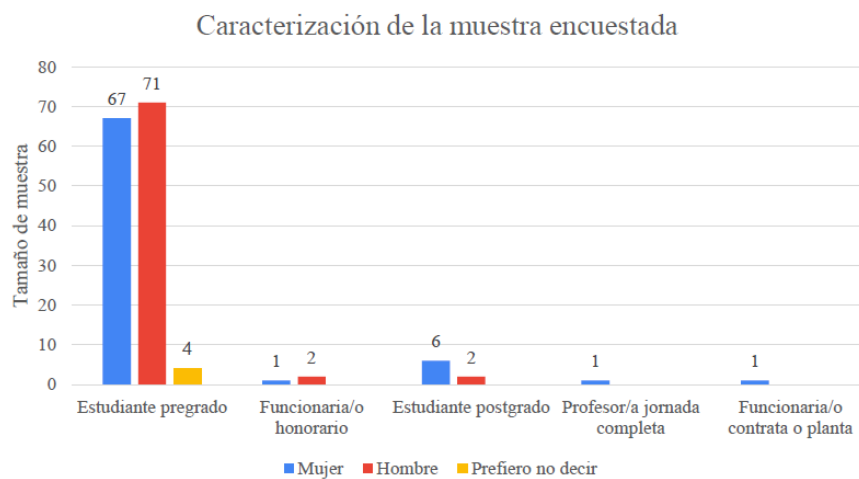


Figura H.18: Caracterización de la muestra.

H.2.2. Con respecto al uso de la bicicleta

El uso de este medio de transporte dentro de la muestra encuestada se ve representado por la Figura H.19.

Distribución porcentual de la muestra encuestada
(total 155)

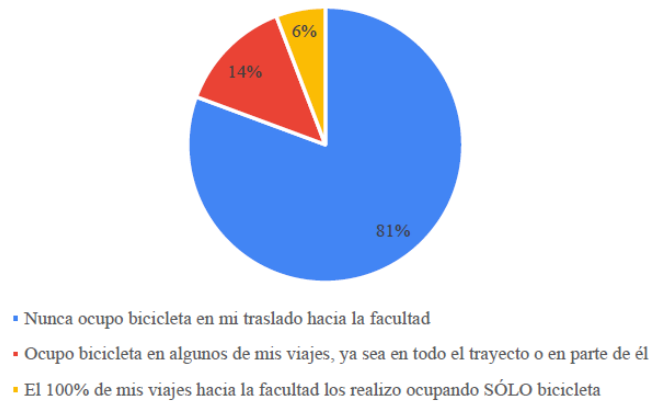


Figura H.19: Uso de bicicleta.

Frente a distintos casos hipotéticos planteados, el porcentaje de relevancia promedio que tendría el uso de bicicleta se muestra en la Figura H.20.

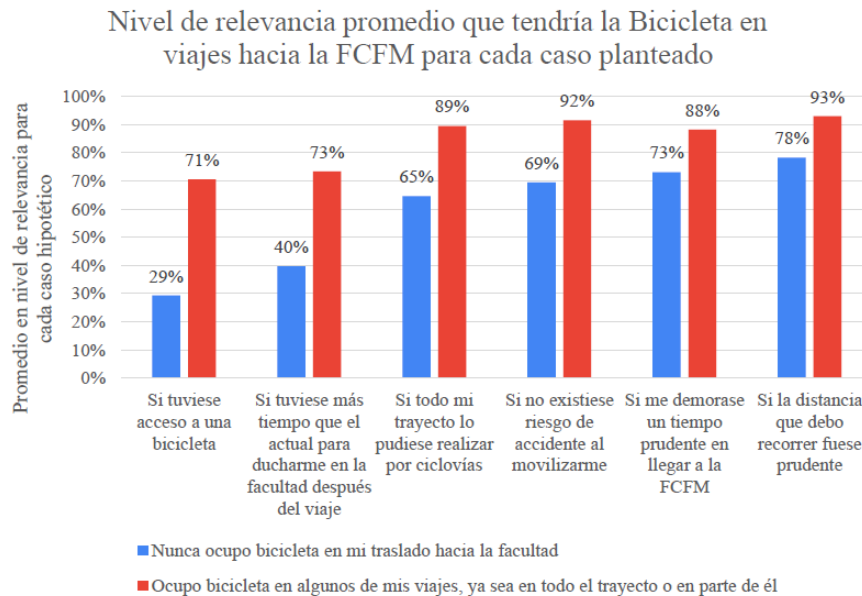


Figura H.20: Nivel de relevancia promedio que tendría la bicicleta frente a casos hipotéticos.

H.2.3. Con respecto al uso de transporte público

El uso de este medio de transporte dentro de la muestra encuestada se ve representado por la Figura H.21.

Distribución porcentual de la muestra encuestada
(total 155)

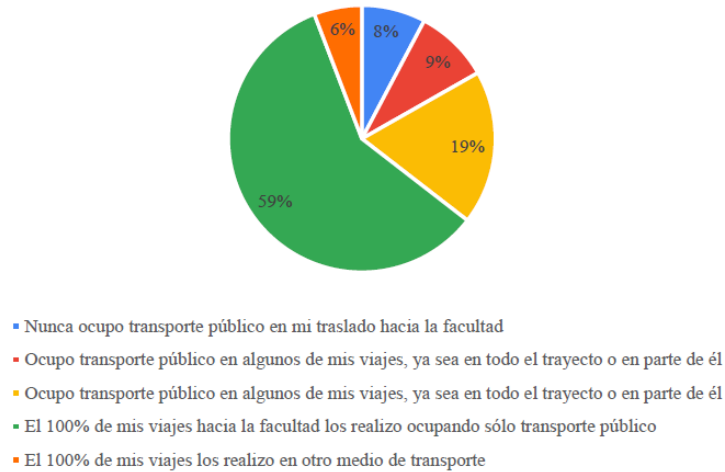


Figura H.21: Uso de transporte público.

Frente a distintos casos hipotéticos planteados, el porcentaje de relevancia promedio que tendría el uso de transporte público en los viajes de la población se representa en las Figuras H.22 y H.23.

Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público en viajes hacia la FCFM
(nunca ocupo transporte público)

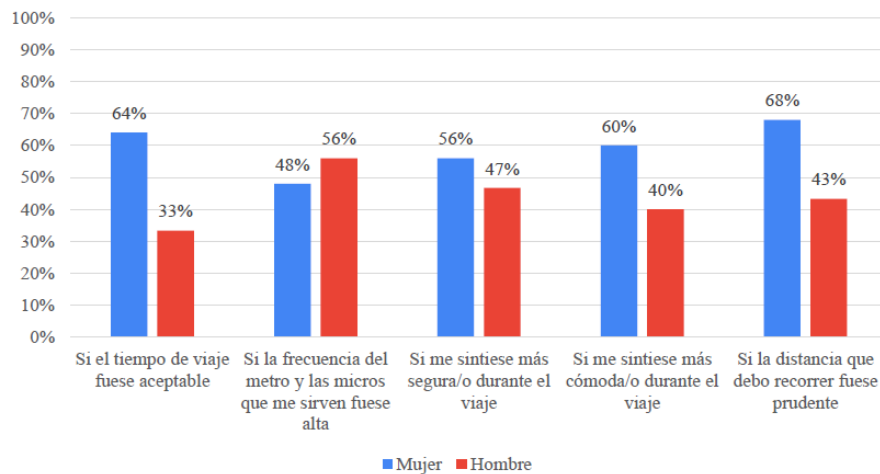


Figura H.22: Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público frente a casos hipotéticos en los viajes de quienes no se movilizan de esta forma.

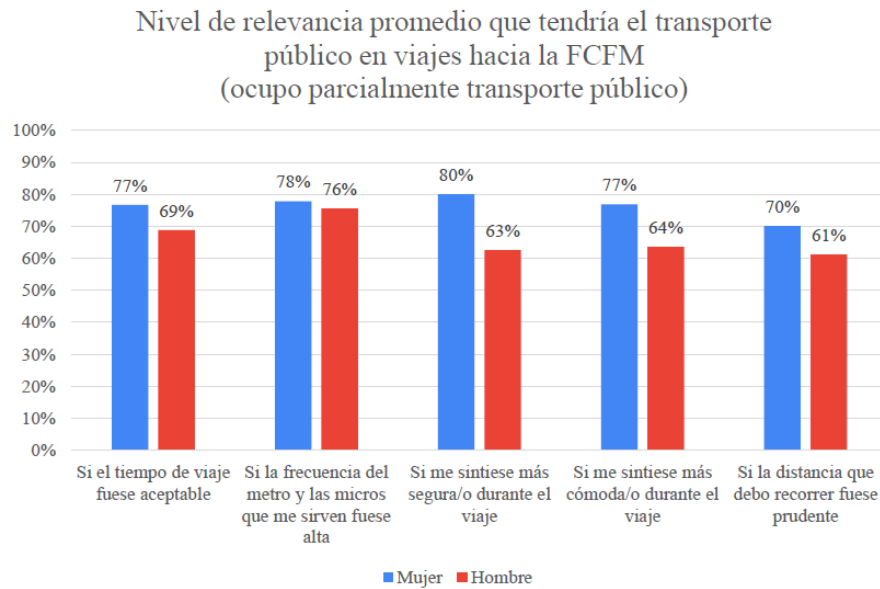


Figura H.23: Nivel de relevancia promedio que tendría el transporte público frente a casos hipotéticos en los viajes de quienes se movilizan parcialmente de esta forma.

H.2.4. Con respecto a compartir automóvil

Esta sección se incluyó para conocer las necesidades de la población encuestada al momento de compartir automóvil. La Figura H.24 presenta el porcentaje de población que no comparte vehículo al momento de moverse hacia la facultad.

¿Comparte el automóvil con personas (fuera de con quienes viven con usted) para trasladarse a la FCFM?

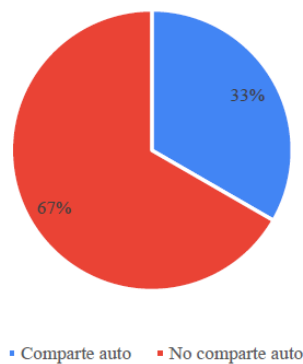


Figura H.24: Distribución porcentual de quienes comparten vehículo en su viaje.

La siguiente figura representa la cantidad de veces que las/los encuestadas/os que no comparten su vehículo seleccionaron cada requerimiento presentado.

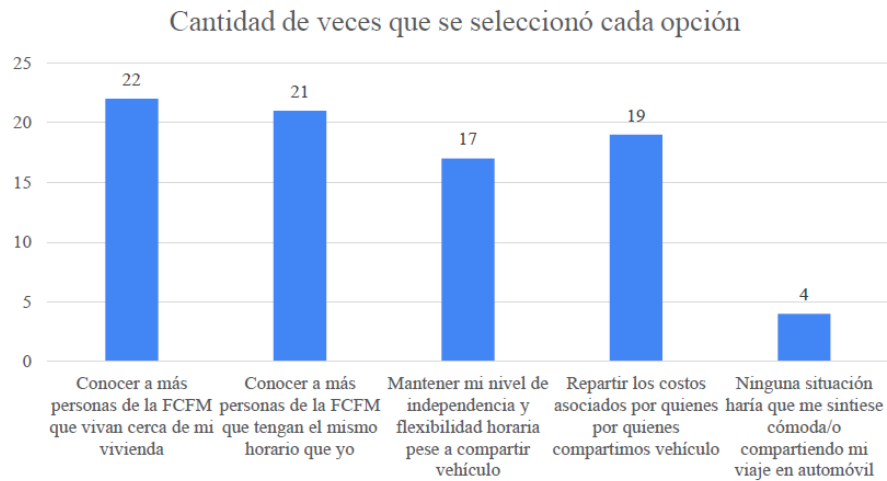


Figura H.25: Cantidad de veces que se seleccionó cada requerimiento.

H.2.5. Con respecto a la aplicación propuesta

La Figura H.26 representa el porcentaje de la población que cree que el uso de la aplicación móvil descrita en la encuesta tendría un efecto positivo en la disminución de su huella.

Con respecto al uso de la aplicación descrita ¿Cree que tendría un efecto positivo en la disminución de su huella?

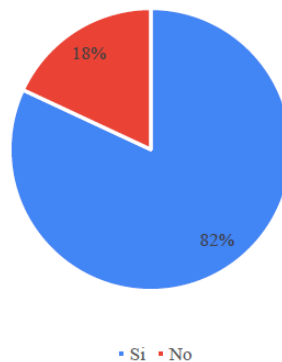


Figura H.26: Uso de la aplicación.

Finalmente, la Figura H.27 muestra que del 82 % de la población encuestada, el 99 % cree que la facultad debiese transparentar sus emisiones en la aplicación.

¿Cree que sería beneficioso que en esta aplicación se transparentaran las emisiones de la FCFM?

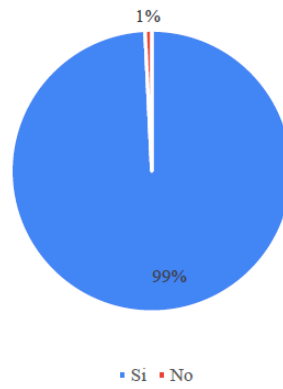


Figura H.27: Transparencia de emisiones.

Anexo I

Cálculo de errores marginales (nueva propuesta metodológica)

Tal como se presenta en la Sección 4.3.3, la nueva metodología propone dos niveles de profundización, cada uno dependiente de la información con la que se cuente. El error marginal asociado a cada ítem de emisión fue calculado a partir de la huella de carbono de la FCFM para el año 2019 en base a las siguientes ecuaciones.

$$e_i = \left| \frac{\text{emisiones}_{i,s} - \text{emisiones}_{i,m}}{\text{emisiones}_{i,s}} \right| \quad (\text{I.1})$$

En donde:

- e_i : error marginal asociado al ítem i .
- $\text{emisiones}_{i,s}$: emisiones del ítem i utilizando la información sugerida en t de CO_{2eq} .
- $\text{emisiones}_{i,m}$: emisiones del ítem i utilizando la información mínima en t de CO_{2eq} .

$$e_{t,i} = \left| \frac{\text{emisiones}_{t,i,s} - \text{emisiones}_{t,i,m}}{\text{emisiones}_{t,i,s}} \right| \quad (\text{I.2})$$

En donde:

- $e_{t,i}$: error marginal con respecto a las emisiones totales asociado al ítem i .
- $\text{emisiones}_{t,i,s}$: emisiones totales utilizando la información sugerida del ítem i en t de CO_{2eq} .
- $\text{emisiones}_{t,i,m}$: emisiones totales utilizando la información mínima del ítem i en t de CO_{2eq} .

La información con la que se contaba para cada ítem de emisión variaba caso a caso, por lo tanto, con los datos disponibles no era posible estimar todas las emisiones asociadas a las respectivas condiciones sugeridas. Es por lo anterior que se aplicaron algunos supuestos a la

base de la huella de carbono FCFM 2019, para de esta forma, establecer una huella hipotética en base a la condición sugerida de cada ítem. Las emisiones en este caso teórico se presentan en la siguiente tabla.

Tabla I.1: Emisiones de GEI para caso de estudio hipotético.

Alcance	Ítem	Emisión base <i>t CO_{2eq}</i>	Emisión caso de estudio <i>t CO_{2eq}</i>
Alcance I	Emisiones asociadas a la fuga de refrigerantes	426	426
	Emisiones asociadas al consumo de combustible en grupos electrógenos	0,622	0,622
	Emisiones asociadas al consumo de combustible para vehículos	104	104
Alcance II	Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la facultad	4.639	4.639
Alcance III	Emisiones asociadas al transporte y disposición en relleno sanitario o centro de acopio de residuos	28	28
	Emisiones asociadas al consumo de agua en las principales dependencias de la FCFM	94	94
	Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM	2.134	2.046
	Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM	2.686	2.748

Tal como se aprecia en la Tabla I.1, sólo fue necesario modificar el caso base para las emisiones asociadas a viajes y al transporte de la comunidad. A continuación se describe la forma en la que se creo este caso de estudio modificando la información recién mencionada.

1. **Emisiones asociadas a viajes de funcionarias/os y académicas/os en representación de la FCFM:** dado que la información disponible corresponde al origen y destino de los viajes realizados sin el detalle de los medios de transporte utilizados en cada uno, se aplicó aleatoriedad para asignar el medio de transporte de cada viaje. El criterio fue el siguiente:

- Si la distancia por vía terrestre se encontraba disponible, se asignó a cada pareja origen-destino viaje en vehículo particular o bus local de manera aleatoria.

- Si la distancia por vía terrestre no se encontraba disponible, se asignaron viajes en avión local o internacional según correspondiese.

Con lo anterior, fue posible estimar la distancia teórica recorrida en cada medio de transporte y, por consiguiente, la emisión asociada a cada tipo de viaje.

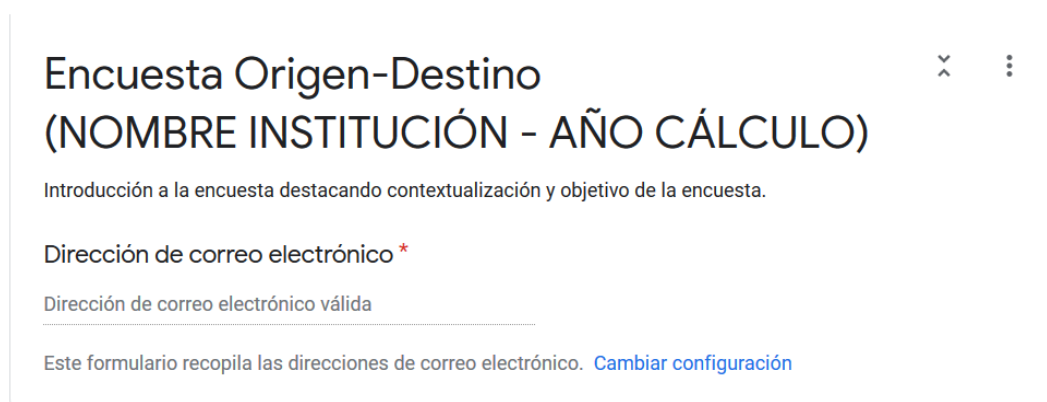
2. **Emisiones asociadas al transporte de la comunidad universitaria hacia y desde la FCFM:** el único cambio aplicado en este caso consistió en asumir un año académico normal. El resultado presentado en la Tabla I.1 corresponde a la huella de carbono que se hubiese obtenido en la FCFM si no hubiese ocurrido el “estallido social” desde octubre del 2019.

Con lo anterior, asumiendo los supuestos descritos en la Sección 4.3.3 se calcularon los errores marginales asociados a cada ítem de emisión.

Anexo J

Encuesta Origen-Destino nueva metodología propuesta

A continuación se presentan las secciones y preguntas que componen la nueva encuesta Origen-Destino.



The screenshot shows a survey window titled "Encuesta Origen-Destino (NOMBRE INSTITUCIÓN - AÑO CÁLCULO)". It includes an introductory text, a required question for the email address, and a configuration link.

Encuesta Origen-Destino (NOMBRE INSTITUCIÓN - AÑO CÁLCULO)

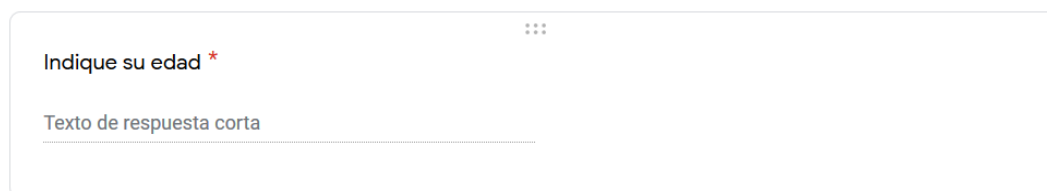
Introducción a la encuesta destacando contextualización y objetivo de la encuesta.

Dirección de correo electrónico *

Dirección de correo electrónico válida

Este formulario recopila las direcciones de correo electrónico. [Cambiar configuración](#)

Figura J.1: Sección 1 y pregunta 1.



The screenshot shows a survey question asking for the respondent's age, with a short answer text input field.

Indique su edad *

Texto de respuesta corta

Figura J.2: Sección 1, pregunta 2.

⋮

¿Con qué género se siente más identificada/o? *

- Mujer
- Hombre
- Otro
- Prefiero no decir

Figura J.3: Sección 1, pregunta 3.

¿A qué estamento pertenece? *

- Estudiante pregrado
- Estudiante postgrado
- Estudiante educación continua (diplomados y cursos)
- Profesor/a jornada completa
- Profesor/a jornada parcial
- Funcionaria/o contrata o planta
- Funcionaria/o honorario

Figura J.4: Sección 1, pregunta 4.

¿A qué instalación viaja con mayor frecuencia? (La instalación debe encontrarse dentro del límite organizacional definido por la institución) *

La dirección de destino determinará la distancia que calcularemos para su huella de carbono. La opción que marque será el destino de su viaje para el resto de la encuesta, por lo tanto, cada vez aparezca "destino" corresponde a la instalación a la que suele viajar frecuentemente. En caso de no estar la dirección exacta a la que viajó marque la más cercana a su destino.

- INSTALACIÓN 1
- INSTALACIÓN 2
- INSTALACIÓN N

Figura J.5: Sección 1, pregunta 5.

Hábitos de transporte hacia su destino



Ahora queremos conocer de qué forma se desplaza hacia su destino. Toda la información recopilada se utilizará solo para fines del cálculo de la huella de carbono de la INSTITUCIÓN y posterior gestión de esta.

Figura J.6: Sección 2, introducción.

Pensando en el AÑO DE ESTUDIO ¿Durante cuántos meses viajó periódicamente hacia su destino? *

1. 1
2. 2
3. 3
4. 4
5. 5
6. 6
7. 7

Figura J.7: Sección 2, pregunta 1.

Pensando en el AÑO DE ESTUDIO, en promedio ¿Cuántos días a la semana se movilizó hacia su destino? *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Figura J.8: Sección 2, pregunta 2.

Por favor, a continuación seleccione de qué forma prefiere indicar la dirección de su domicilio durante el AÑO DE ESTUDIO. *

Dirección exacta (Calle - Número)

Dirección de referencia (Punto de referencia)

Figura J.9: Sección 2, pregunta 3.

La siguiente sección es exclusiva para quienes contestaron “Dirección exacta (Calle-Número)” en la pregunta 3 de la sección anterior (Figura J.9).

Dirección exacta (Calle - Número) ⌵ ⋮

A continuación se recopilarán algunos datos para estimar la distancia que recorre en cada medio de transporte durante los días que viaja hacia la INSTITUCIÓN.

Figura J.10: Sección 3, introducción.

Por favor, seleccione la comuna en dónde se encuentra su domicilio. *

Si su vivienda se encuentra en una comuna fuera de la RM, por favor selecciona "OTRA"

1. ALHUÉ
2. BUIN
3. CALERA DE TANGO
4. CERRILLOS
5. CERRO NAVIA
6. COLINA
7. CONCHALÍ

Figura J.11: Sección 3, pregunta 1.

La pregunta anterior da la opción de que el usuario escoja entre las 52 comunas de la región metropolitana o bien, seleccionar la opción “Otra”.

Si marcó "OTRA", escriba a continuación el nombre de la comuna. Si marcó una comuna de la RM no conteste esta pregunta.

Texto de respuesta corta

Figura J.12: Sección 3, pregunta 2.

Indique SOLO el nombre de su calle *

Texto de respuesta corta

Figura J.13: Sección 3, pregunta 3.

Indique SOLO el número de su domicilio (en caso de ser edificio no coloque el número de departamento, solo del edificio) *

Texto de respuesta corta

Figura J.14: Sección 3, pregunta 4.

A continuación se presentan distintas modalidades de viaje, por favor señale el nivel de presencia que cree que tiene cada una durante sus viajes hacia la institución. *

0 = no está presente en mis viajes, 5 = muy presente en mis viajes

	0	1	2	3	4	5
Caminata	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bicicleta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Micro/Bus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Metro/Metro...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Motocicleta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scooter eléct...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura J.15: Sección 3, pregunta 5.

Además de los medios de transporte presentados en la Figura J.15, el usuario debe responder la pregunta para: “Taxi o Colectivo”, “Uber, Cabify u otra aplicación”, “Auto eléctrico”, “Auto convencional” y “Auto híbrido”.

En caso de que use cualquier tipo de automóvil ¿Cuántas personas, además de usted, se encuentran en el vehículo? (independientemente de quién maneje)

Texto de respuesta corta

Figura J.16: Sección 3, pregunta 6.

⋮

En caso de que use auto convencional o auto híbrido ¿Qué tipo de combustible utiliza?

Diesel (Petroleo)

Gasolina (93, 95 o 97)

Figura J.17: Sección 3, pregunta 7.

⋮

Del total de días que declaró viajar hacia la institución ¿Cuántos se ven representados por la dirección de origen indicada y los medios de transporte escogidos? *

Indicar "No todos" en caso de, por ejemplo, viajar desde otra dirección durante algunos días de la semana.

Todos los días que señalé con anterioridad

No todos

Figura J.18: Sección 3, pregunta 8.

En caso de que la respuesta asociada a la pregunta 8 de la sección anterior (Figura J.18) sea “No todos”, el usuario deberá volver a responder las preguntas para el resto de los días en los que se moviliza hacia su destino (Sección 3.1).

Dirección exacta (Calle - Número) continuación



A continuación se recopilarán algunos datos para estimar la distancia que recorre en cada medio de transporte durante los días que no consideró en la sección anterior.

Figura J.19: Sección 3.1, introducción.

Del total de días que declaró viajar hacia la institución ¿Cuántos se ven representados por la dirección de origen indicada y los medios de transporte escogidos en esta sección? *

Texto de respuesta corta

Figura J.20: Sección 3.1, pregunta 8.

La encuesta cuenta con secciones equivalentes en caso de que el usuario decida ingresar su ubicación mediante un punto de referencia (Sección 2, pregunta 3).

Dirección de referencia (Punto de referencia)



Descripción (opcional)

Figura J.21: Sección 4, introducción.

Por favor, indique un punto de referencia que se encuentre dentro de un radio de aproximadamente 1 km desde su domicilio y dentro de su comuna. *

Por ejemplo: Torre Entel, Villa el Abrazo, Colegio Alicante, etc. También puede indicar alguna dirección exacta (calle y número) que se encuentre cerca de su domicilio.

Texto de respuesta corta

Figura J.22: Sección 4, pregunta 3.

Anexo K

Aplicación propuesta

Con el objetivo de generar conciencia con respecto a las emisiones de GEI de la comunidad universitaria, se propone la creación de una aplicación celular que, dentro de sus principales funciones, permita registrar la huella de carbono asociada al transporte de quien la utiliza.

Según los resultados de la encuesta presentados en el Anexo H.2, el 82 % de quienes respondieron creen que el uso de una aplicación que permitiese estimar de manera periódica sus emisiones asociadas al transporte y otras actividades, tendría un efecto positivo en la disminución de su huella.

Desarrollando la idea, se cree que bosquejo presenta la oportunidad de ampliar el espectro de organizaciones de educación superior que busquen reducir sus emisiones. Hoy en día no existe una aplicación de este tipo orientada a instituciones de educación superior.

En términos generales, el bosquejo que se presenta a continuación corresponde a la idea conceptual de una herramienta diseñada para los usuarios de las distintas instituciones de educación superior del país y a las instituciones en si.

Inicio de la aplicación e inicio de sesión

La Figura K.1 presenta la pantalla de inicio de la aplicación.



Figura K.1: Pantalla de inicio.

Desde la pantalla recién presentada, el usuario podrá ingresar a la aplicación con una cuenta ya registrada (Figura K.2) o bien, crear un nuevo usuario a partir de los datos asociados a su institución (Figuras K.3a y K.3b).



Figura K.2: Inicio de sesión.



(a) Registro 1.

(b) Registro 2.

Figura K.3: Registro de cuenta nueva.

Configuración de la aplicación

Al seleccionar el icono inferior derecho, el usuario podrá acceder a la configuración de la aplicación.



Figura K.4: Configuración de la aplicación.

Acciones dentro de la aplicación

En términos generales, la aplicación presenta 4 opciones para el usuario: (1) Comenzar un nuevo viaje, (2) Ver las estadísticas de emisión personales, (3) Ver las estadísticas de la institución y (4) Ver ideas de reducción. La Figura K.5 presenta las opciones recién mencionadas.



Figura K.5: Acciones dentro de la aplicación.

Comenzar un nuevo cálculo

Esta opción tiene como principal objetivo que el usuario registre un nuevo viaje hacia su institución. Frente a esto existen dos alternativas, la primera busca registrar la ruta recorrida por el usuario utilizando su geolocalización. La segunda corresponde a la determinación manual de la ruta que sigue el usuario en su viaje. En ambas alternativas, el tipo de movilización debe ingresarse manualmente.

Además de lo anterior, se podrá acceder al registro de viajes para que quien utiliza la aplicación. Finalmente, se agrega una opción para quienes deseen compartir automóvil o bien, quienes buscan a quien esté prestando el servicio.

La Figura K.6 presenta la pantalla asociada al nuevo cálculo.



Figura K.6: Pantalla nuevo cálculo.

Ver mis estadísticas

Bajo esta opción el usuario podrá conocer la información asociada a la huella de carbono de su último viaje. También podrá acceder a su historial para evaluar la evolución de las emisiones asociadas a su transporte a través del tiempo.

La Figura K.7 presenta la pantalla asociada a las estadísticas.



Figura K.7: Pantalla estadísticas personales.

Estadísticas de mi institución

Además de las estadísticas personales, el usuario podrá acceder a las de su institución. Según los resultados presentados en el Anexo H.2, el 99 % de quienes creen que el uso de esta aplicación sería beneficioso opinan que la institución debiese transparentar sus emisiones en ella.

Se espera que también se encuentre disponible el detalle asociado a cada emisión. Finalmente se presenta la opción de conocer las estadísticas de otras instituciones de educación superior adscritas al programa.

La Figura K.8 muestra la pantalla tentativa de esta opción.



Figura K.8: Pantalla estadísticas de la institución.

Ideas de reducción

A partir de algunos comentarios recopilados en la encuesta de barreras de transporte (Anexo H) nace la idea de que la aplicación presente ideas para reducir las emisiones personales y a nivel institucional asociadas a los 3 alcances de emisión.

La Figura K.9 presenta la pantalla de esta opción.



Figura K.9: Pantalla ideas de reducción.

Anexo L

Índice archivos adjuntos

Junto con el presente escrito, este trabajo de título incluye los siguientes archivos adjuntos.

1. **“Cálculo Huella de Carbono FCFM 2019.xlsm”**: corresponde a la memoria de cálculo completa de la huella de carbono de la FCFM 2019 realizada bajo la primera iteración.
2. **“Planilla base para cálculo de Huella de Carbono.xlsm”**: corresponde a la planilla base cuyo uso se propone para el orden y manejo de información en la nueva propuesta metodológica.
3. **“Enlaces de interés.txt”**: presenta en enlace que permitirá visualizar la lista de reproducción de videos tutoriales confeccionados para explicar la propuesta metodológica.
4. **“Videos tutoriales”**: corresponden a los videos confeccionados para la explicación de la propuesta metodológica.