

**Propuesta para la estimación del balance del carbono y su gestión por parte de la
Universidad Icesi**

Juan Manuel Ortiz Libreros
Oscar Eduardo Pinzón León

Universidad Icesi
Maestría en Sostenibilidad
Programas Interdisciplinarios
Diciembre, 2022
Cali, Colombia

**Propuesta para la estimación del balance del carbono y su gestión por parte de la
Universidad Icesi**

Juan Manuel Ortiz Libreros
Oscar Eduardo Pinzón León

Trabajo de Grado para optar al título de Máster en Sostenibilidad

Directoras del Proyecto
Katherine Ortega
Camila Pizano

Universidad Icesi
Maestría en Sostenibilidad
Programas Interdisciplinarios
Diciembre, 2022
Cali, Colombia

NOTA DE ACEPTACIÓN

Por medio de la presente, se certifica que el trabajo de grado

Presentado por: **Juan Manuel Ortiz Libreros**

Oscar Eduardo Pinzón León

Titulado **Propuesta para la estimación del balance del carbono y su gestión por parte de la Universidad Icesi**

Para obtener el título de **Máster en Sostenibilidad**

Es aprobado por el comité de Trabajo de Grado:

1. _____ (director)

2. _____ (Jurado 1)

3. _____ (Jurado 2)

Cali, Fecha (___/___/___)

Resumen

Con el fin de establecer un balance entre las emisiones de carbono y la capacidad de almacenamiento de este compuesto por parte de Icesi, se recurrió al “Protocolo Global para el Inventarios de Emisión de GEI a Escala Comunitaria” (estimación emisiones) y al “Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia” (estimación de captura de carbono).

Como medio para procesar la información, se diseñó una herramienta en Excel que permitió transformar los datos disponibles respecto a la cobertura vegetal y las fuentes de emisión asociadas a la universidad Icesi. El proceso de estimación de emisiones tuvo en cuenta 3 alcances (considerando fuentes de emisión directas e indirectas), su posterior cuantificación se realizó con datos del periodo académico 2022-1, obteniendo una emisión total de 1214,63 tCO₂eq. En cuanto a la capacidad de captura de carbono, el resultado del procesamiento de los datos arrojó que, entre las sedes de Pance y Zygia se pueden fijar aproximadamente 4613,08 tCO₂eq.

El contraste entre las emisiones y la captura permitió establecer que, al menos durante el periodo de tiempo evaluado la universidad obtuvo un balance positivo (se capturó más carbono del que se emitió). A partir de esto se generaron propuestas encaminadas a la generación de información desde el componente de captura de carbono y una serie de recomendaciones para dar gestión a las emisiones de la institución.

Palabras claves: carbono, balance de carbono, Icesi, fijación, captura, cobertura vegetal, inventario de emisiones.

Abstract

In order to establish a balance between carbon emissions and the carbon storage capacity of Icesi, the "Global Protocol for GHG Emission Inventories at Community Scale" (emissions estimation) and the "Protocol for the national and subnational estimation of biomass-carbon in Colombia" (carbon sequestration estimation) were used.

As a means to process the information, an Excel tool was designed to transform the available data regarding vegetation cover and emission sources associated with the Icesi University. The emissions estimation process took into account 3 scopes (considering direct and indirect emission

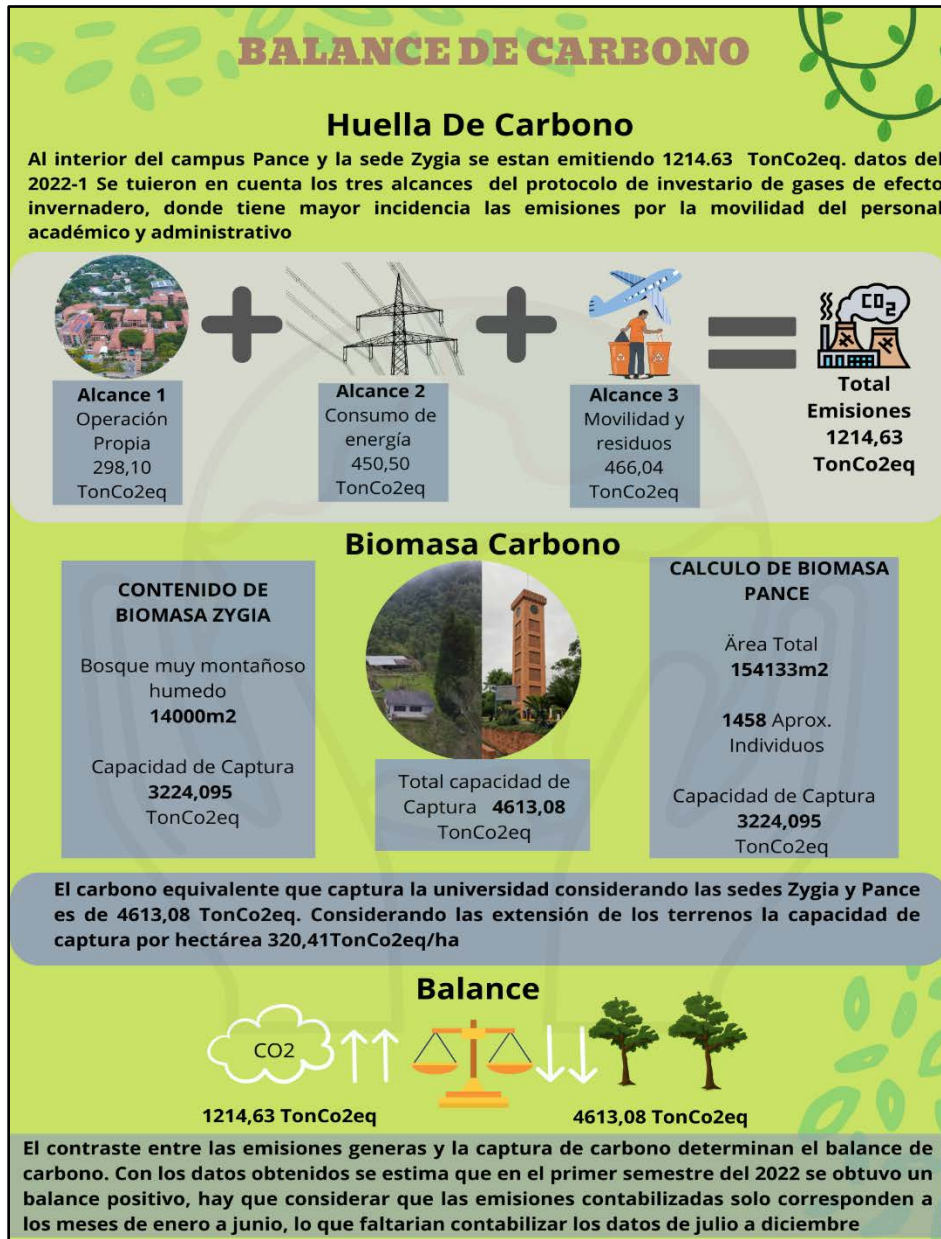
sources), its subsequent quantification was carried out with data from the 2022-1 academic period, obtaining a total emission of 1214.63 tCO₂eq. Regarding the carbon capture capacity, the result of the data processing showed that, between the Pance and Zygia sites, approximately 4613.08 tCO₂eq can be fixed.

The contrast between emissions and capture made it possible to establish that, at least during the period of time evaluated, the university obtained a positive balance (more carbon was captured than was emitted). Based on this, proposals were generated aimed at generating information from the carbon capture component and a series of recommendations for managing the institution's emissions.

Key words: Carbon, Carbon balance, Icesi, Carbon sequestration, Census, Census, Inventory, Vegetation cover.

Resumen Gráfico

Ilustración 1 Resumen gráfico



Introducción

La emisión a la atmosfera de compuestos contaminantes originados por actividades antrópicas, tales como los gases que potencian el efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano y ozono), han generado diferentes alteraciones en las dinámicas naturales del planeta, una de ellas es la variación en la temperatura (IPCC, 2007). El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los compuestos de mayor participación en el aumento terrestre de la temperatura (82%) (Unep, 2019), con el agravante de que para el año 2035 las emisiones de CO₂ podrían aumentar en una tasa mayor al 7% con respecto al año 2007 (Shi et al, 2015).

Es por lo que, a nivel global han surgido estrategias que buscan reducir los niveles de emisión de diversos compuestos, con el fin de contrarrestar parte de sus efectos, como lo fue la COP 21 desarrollado en París (UN, 2015), protocolo de Kioto, Intergubernamental Panel on Climate Change (Fenner et al, 2018), entre otros.

La búsqueda de herramientas que permitan dar gestión al CO₂, atendiendo los procesos desarrollados por una organización, han resultado en estrategias como la medición de la huella de carbono, la cual consiste en la cuantificación de la descarga de gases efecto invernadero a lo largo de una cadena de valor (Dias & Arroja, 2011), o el cálculo de las emisiones directas o indirectas causadas por dichas actividades (Syafrudin et al, 2020). Este tipo de herramientas permite la implementación de planes de reducción y mitigación a través de la trazabilidad en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Dentro de las principales herramientas para establecer una metodología de cálculo de huella de carbono, se encuentra la ISO 14064, norma que permite establecer una línea base para inventariar y posteriormente dar informe sobre las emisiones asociadas a determinadas actividades (ISO, 2018). Por otro lado, también está el GH Protocol (Protocolo Global para Inventarios de Emisión de GEI a Escala Comunitaria-GPC) (WRI, 2014), que permite establecer un contexto de emisión de GEI, desde una perspectiva regional (ciudades) hasta una local (comunidades), brindando un marco de establecimiento del alcance, métodos de recopilación de información, calculo a partir de la obtención de datos y finalmente un marco para dar respuesta a las oportunidades de mejora identificadas.

A nivel institucional, la Universidad Icesi se plantea el reto de realizar el cálculo de su aporte a la emisión de gases efecto invernadero en la ciudad de Santiago de Cali, así como de su capacidad para reducir y mitigar los efectos asociados a los mismos. La aplicación de herramientas de estimación de huella de carbono, medición de reservas de carbono en las coberturas vegetales y el desarrollo de inventarios forestales, permiten establecer la capacidad de captura de las sedes Pance y Zygia de la universidad, se presentan como estrategias vitales para cuantificar un flujo de carbono y de esta forma plantear propuestas que permitan dar gestión al mismo.

Contexto del problema

Un aspecto para destacar, con respecto a los procesos de medición y cuantificación de la huella de carbono, es la falta de estandarización en el desarrollo de estos, lo que puede conllevar a deficiencias en el análisis, dando como conclusión resultados sesgados en las estimaciones o que dificultarían la comparación con otros estudios (Días & Arroja, 2012).

Teniendo en cuenta que Icesi busca ser un campus sostenible, desde diferentes áreas de la universidad se han adelantado esfuerzos para calcular el impacto de las actividades que se realizan en su interior, en este sentido desde el año 2016 de manera voluntaria se participa en el ranking UI Green Metric donde se miden las estrategias de sostenibilidad de los campus universitarios, comparando sus resultados con instituciones a nivel mundial. Como complemento de esta iniciativa, se han realizado procesos para estimar la huella de carbono, pero se han presentado dificultades para la recolección de la información y la evaluación constante de los resultados.

La Universidad Icesi se encuentra ubicada en la comuna 22 del distrito especial de Santiago de Cali, Valle del Cauca, cuenta con aproximadamente $145.000 m^2$ de área total y $62.500 m^2$ de área construida (Universidad Icesi, 2020). Adicionalmente la universidad tiene una estación biológica, ubicada en la vereda El Pato, en el corregimiento de la Leonera (2.300-2.400 msnm) con una precipitación promedio anual de 1.950 mm, temperatura promedio entre los 12-18°C (CVC, 2021), y una extensión de $200.000 m^2$, este es un terreno donde se realizan proyectos de investigación de ecología y de conservación de los bosques de niebla (boletín estadístico Icesi, 2020).

Al inicio del semestre 2022-1 la institución optó por contratar un proveedor externo para realizar un inventario de emisiones (contemplando solo la sede Pance) y conocer la producción de compuestos contaminantes del año inmediatamente anterior, debido a que el 2021 fue un periodo donde la pandemia asociada a la COVID-19, la universidad no estaba operando a su capacidad máxima, por ende, los resultados de esta medición mostraron una reducción significativa de las emisiones generadas al interior del campus (Ecogea SAS, 2022), es decir los resultados no fueron concluyentes respecto a la evaluación del problema.

Es por esto y pensando en la estrategia de Icesi sostenible, se requiere de herramientas de medición de huella de carbono y de estimación de la captura de este mismo compuesto, que le permitan a la Icesi de manera independiente, generar medios para calcular las emisiones asociadas a sus actividades y a partir de los resultados obtenidos, generar estrategias que den gestión al carbono generado, esto con el fin de lograr un balance de carbono (emisión y captura) que tienda a neutralizar sus impactos sobre el ambiente, la comunidad vecina y aspectos financieros considerados por la universidad.

Objetivo del proyecto

Diseñar una propuesta para sistematizar el cálculo del balance de carbono en la universidad Icesi con el fin de plantear estrategias de reducción y mitigación.

Objetivos Específicos

- Seleccionar la metodología que se ajuste a las IES tanto para medición de huella como de captura de carbono.
- Diseñar la herramienta de medición y recolección de la información.
- Establecer la línea base con información disponible.
- Generar estrategias de reducción, mitigación y evaluación continua del balance carbono desde un enfoque de TBL

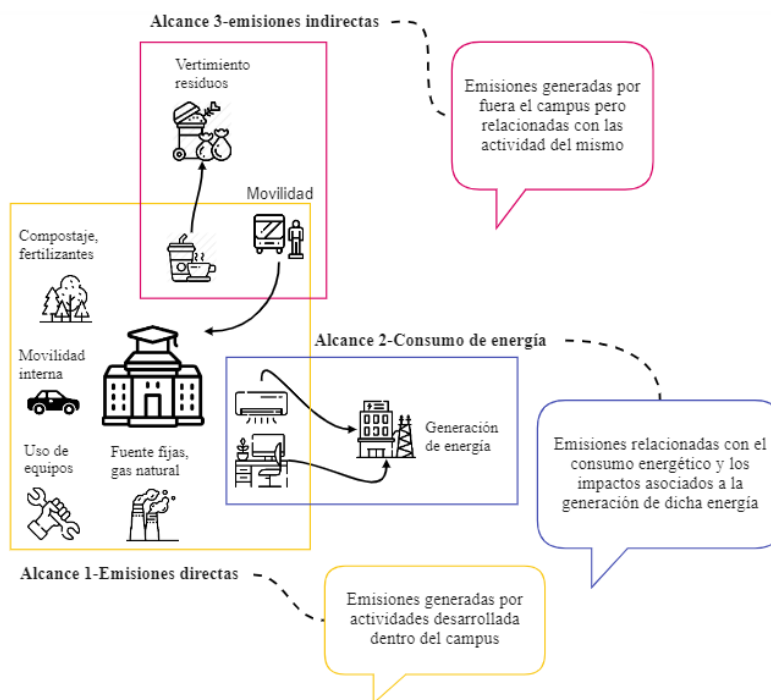
Metodología

Seleccionar una metodología que se ajuste a las IES tanto para medición de huella como de captura de carbono.

Componente de huella de carbono

Las principales herramientas utilizadas para la medición y cuantificación de la huella de carbono en instituciones son la Norma ISO 14064 y el Protocolo Global para el Inventarios de Emisión de GEI a Escala Comunitaria-GPC. De esas 2 metodologías se determinó que, el GPC abarca mayor cantidad de aspectos para la determinación de la huella de carbono (la ISO solo define contenidos y requerimientos para el reporte de los resultados de los inventarios). De acuerdo con (WRI, 2014), se consideraron 3 alcances (Ilustración 2); el primero relacionado con las emisiones generadas dentro del campus Pance identificándose estas como fuentes directas, el segundo consideró las emisiones derivadas del consumo energético dentro de la universidad y el tercero abarcó aquellas actividades institucionales con impactos más allá del primer alcance.

Ilustración 2 Identificación de alcances y fuentes de emisión



Nota. Fuentes de emisión consideradas (directas e indirectas) por cada uno de los alcances establecidos.

Se identificaron como fuentes generadoras de emisión del alcance 1, las asociadas al uso de gas natural en las cafeterías y los procesos académicos en la planta piloto de ingeniería bioquímica, emisiones fugitivas en la recarga de refrigerantes en sistemas de aires acondicionados, actividad transitoria en las plantas eléctricas de Pance y Zygia (consumo de combustible), uso de NO₂ y CO₂ en laboratorios y operación de equipos de jardinería (consumo de combustible). En cuanto al alcance 2 solamente se recurrió a información del consumo energético de la sede Pance. Finalmente, el alcance 3 consideró la movilidad terrestre (transportes institucionales, visitas de campo, etc.), viajes aéreos (por motivos académicos, traslado de invitados, docentes, etc.) y generación de residuos ordinarios y residuos peligrosos.

Es importante resaltar que, se recurrió a bases de datos del IPCC (2006) y de la EPA (2014) para identificar los factores de emisión. En cuanto a los datos utilizados, debido a la disponibilidad de información, se hizo una evaluación solo del primer periodo del 2022, es decir se estimó la huella de carbono institucional de las actividades desarrolladas entre enero y julio de dicho año, no se consideró 2021 debido a que fue un año atípico por temas de alternancia generada por pandemia.

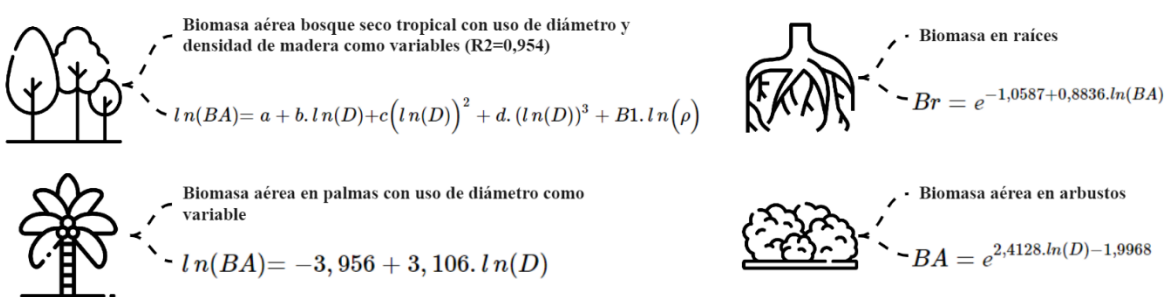
Componente de cálculo de la biomasa-carbono

El cálculo de la biomasa (materia orgánica) y el carbono contenido en la cobertura vegetal de cada una de las sedes, se realizó a partir de información consultada en documentos oficiales publicados por el IDEAM, tales como Yepes et al (2011) para el caso de Pance y Phillips et al (2011) para la estación biológica.

Para adelantar el proceso de estimación de biomasa-carbono de la sede Pance, se recurrió al censo forestal realizado por (Guevara Ruiz, 2020), en este trabajo se dividió el área del campus Pance en 4 sectores, realizándose un muestreo sistemático, se registraron datos de diámetro a la altura de pecho (DAP) mayor a 10 cm, especie, ubicación, atributos relacionados con el estado y características de cada individuo (no se calculó la altura de cada individuo), finalmente se compiló la información en una base de datos, la cual sirvió como herramienta para realizar los cálculos de contenido de carbono en esta sede, para efectos de este trabajo se complementó la información con la densidad de madera para las especies que estuvieran disponibles tomando datos de (World Agroforestry, 2016) y (EIA, 2014).

Se hizo uso de las ecuaciones alométricas propuestas por Álvarez et al (2011) y compiladas en (Yepes et al, 2011) que mejor se ajustaran al caso (DAP y densidad de madera según la especie y tipo de individuo), obteniendo como resultado la biomasa de cada uno de los individuos (aérea y en raíces) y mediante el uso de un factor recomendado de 0,5 (Yepes et al, 2011) , se pudo calcular el carbono contenido en cada uno de ellos, la Ilustración 3 presenta las ecuaciones utilizadas (en el anexo 1 se explican cada uno de los valores constantes y se exponen algunas consideraciones).

Ilustración 3 Ecuaciones alométricas para cada caso



Nota. Ecuaciones alométricas utilizadas para cada uno de los componentes evaluados, biomasa aérea, en raíces, palmas y arbustos. Adaptado de, Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia, por Yepes et al, 2011, Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.

Por otro lado, ya que de la sede Zygia no se disponía de ningún tipo de información diferente al área (200.000 m², se estimó que un 70% de esta sede estaba cubierta por bosque) y el tipo de ecosistema, siendo este un bosque muy húmedo montano (Yepes et al, 2011), se tomó la decisión de recurrir a la literatura para generar un valor teórico de la biomasa y contenido de carbono, para esto se hizo uso del informe de (Phillips et al, 2011), este documento recopiló información a partir de 3.499 levantamientos e inventarios forestales entre la década del 90 y la primera década del 2000, la información fue procesada en una base datos donde se incluía la información tomada en campo (altura, DAP, especie, etc.) y se complementó para efectos de este trabajo con densidades de madera, con esto se determinó la biomasa aérea y el contenido de carbono en cada uno de los ecosistemas de acuerdo a las ecuaciones de (Alvarez et al, 2011)

Diseñar la herramienta de medición y recolección de la información.

A partir de la información recolectada durante el desarrollo del primer objetivo, se procesaron los datos haciendo uso de matrices en Excel, entregando resultados cuantitativos respecto a las emisiones asociadas a las actividades desarrolladas en la Icesi sede Pance y Zygia, así como información de contenido de biomasa y carbono del censo forestal del campus Pance y la estimación realizada en Zygia. El Excel tuvo como finalidad compilar datos de ambos componentes y permitir un análisis a partir del balance calculado de acuerdo con lo emitido y fijado por la Icesi.

Componente de biomasa-carbono

Para el componente de biomasa carbono en la herramienta de Excel, se dispuso de 2 hojas, una denominada “Censo arbóreo Pance” en la cual se registró la información recolectada por parte (Guevara Ruiz, 2020), individuo, zona, DAP, especie y familia, mientras que los datos incluidos para efectos de este trabajo fueron, la densidad de madera, las columnas de cálculo de biomasa y contenido de carbono (biomasa aérea, biomasa en raíces, contenido de carbono aéreo, contenido de carbono en raíces y contenido total). Por otro lado, en la hoja de “estimación captura” se organizaron los datos con el fin de establecer los contenidos de carbono equivalente (CO_2eq), el cual hace referencia a la cantidad de carbono que se dejaría de emitir a la atmosfera si se preserva la cobertura vegetal evaluada, esto para el caso tanto de Pance como de Zygia.

Componente de huella de carbono

Para la huella de carbono también se dispuso de 2 hojas de Excel, la primera, “Emisiones Pance” sirvió como plataforma para presentar las fuentes de emisión seleccionadas y los factores asociados a cada una de estas, “Resultado de emisiones” presentó los resultados en términos de CO_2eq para cada una de las fuentes evaluadas, en esta hoja quien opere la plataforma, debería incluir los valores de generación de cada fuente de acuerdo con las unidades que corresponda. Cabe aclarar que, de Zygia se consideraron las emisiones asociadas a la operación de la planta eléctrica de energía la cual funciona con combustible.

Componente de Balance de carbono

La última hoja de la herramienta corresponde al balance de carbono, aquí se realizó una comparación entre los resultados de las estimaciones de fijación de las 2 sedes de la universidad Icesi y las emisiones de los cálculos de huella de carbono, esta hoja no es modificable ya que compila los resultados de las operaciones anteriores. Se presentó la emisión y fijación en función de las áreas de las sedes ($\frac{CO_2eq}{ha}$), con el fin de poder tener un punto de contraste entre ambos valores, así mismo se graficaron los resultados en términos totales (CO_2eq) con el fin de dimensionar los impactos y las oportunidades de mejora en términos de captación de carbono.

Establecer la línea base con información disponible

Icesi durante el año 2021 adelantó un ejercicio de cálculo de huella de carbono, esta tarea fue asignada a la organización EcoGea, el estudio permitió identificar fuentes de emisión de las cuales se podría disponer de información, también sirvió como base para el diseño de la estructura de la herramienta de Excel a través de la identificación de oportunidades de mejora en términos de los factores de emisión utilizados por (Ecogea SAS, 2022), fuentes seleccionadas y periodo de tiempo evaluado.

Generar estrategias de reducción, mitigación y evaluación continua del balance Carbono desde un enfoque de TBL.

Debido a la falta de datos para tomar posteriores decisiones, se optó por encaminar las estrategias de gestión principalmente a la generación de información, en especial en el componente de estimación de la capacidad de captura de carbono de la universidad, mientras que para el componente de emisión, se generaron recomendaciones de intervención al corto plazo en aquellas actividades que reportaron emisiones significativas y de las cuales la universidad tenía mayor capacidad de intervención (consumo energético y uso de refrigerantes). Estas propuestas por componente buscaron en un primer acercamiento, dotar a la universidad de información,

facilitando la futura generación de propuestas acertadas enfocadas en la transición a campus sostenible de Icesi

En primera instancia para el componente de biomasa-carbono, las propuestas de gestión se encaminaron en caracterizar la vegetación con la que cuenta cada una de las sedes de la universidad y de forma complementaria se planteó una estrategia para cuantificar económicamente el servicio ecosistémico de regulación relacionado con el carbono fijado por los ecosistemas presentes en Icesi. Por otro lado, para regular el consumo energético se recomendó dotar el campus de un sistema de sensores que permite mantener control sobre los espacios de acuerdo con la presencia de personas, así como aprovechar las condiciones naturales de iluminación y ventilación de la infraestructura física con el fin de reducir la dependencia de aires acondicionados y uso constante de luminarias.

Resultados y Discusión

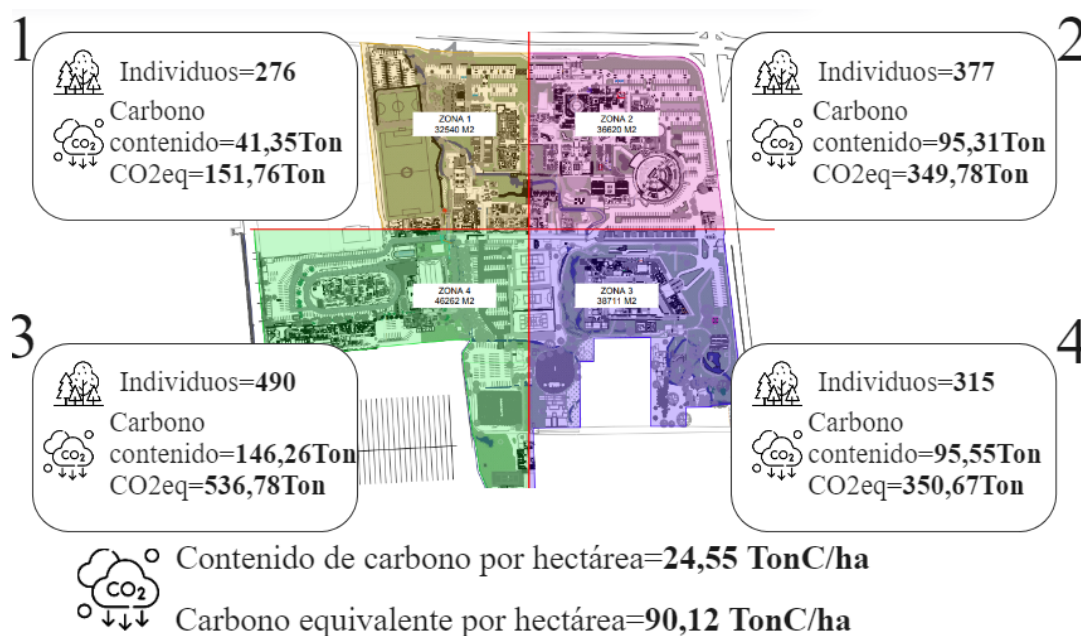
Herramienta de medición y recolección de la información.

A partir de la construcción de la herramienta de Excel para procesar y transformar la información (Anexo 1), se obtuvieron resultados relacionados con la estimación de la biomasa-carbono, cálculo de la huella de carbono y el establecimiento del balance de este compuesto. En dicho anexo se expone en detalle la forma en que se utilizaron los datos y se aclaran algunas consideraciones.

Estimación de la Biomasa-Carbono

Una vez procesada toda la información relacionada con la estimación de biomasa-carbono de cada una de las sedes, se pudo establecer que, la sede Pance tiene un contenido de $24,55 \frac{tC}{ha}$ (Ilustración 4). Mientras que en Zygia y atendiendo los datos asumidos (área cubierta por bosque aproximadamente de 70%), se pudo realizar una estimación de biomasa de 1757t y un contenido de carbono en esta sede de 878,5t.

Ilustración 4 distribución espacial de la capacidad de fijación en Pance



Nota. Distribución espacial (cuadrantes) de la cantidad de individuos arbóreos del contenido de carbono y carbono equivalente por unidad de área en la sede Pance.

En términos de carbono equivalente se podría decir que, se dejarían de descargar a la atmósfera $90,12 \frac{tCO_2eq}{ha}$ en Pance y $230,29 \frac{tCO_2eq}{ha}$ en Zygia, es decir, la Icesi tiene una capacidad total de fijación de CO_2 de $4613,08 tCO_2eq$ o $320,41 \frac{tCO_2eq}{ha}$.

Todos los procesos de cálculo desarrollados en este subtítulo se pueden verificar en las hojas de “censo arbóreo” y “estimación captura” del Anexo 1.

Resultados Huella de carbono

El primer ejercicio de acercamiento de la Icesi para determinar su huella de carbono evaluó las actividades académicas comprendidas entre enero y diciembre de 2021, teniendo en cuenta que este fue un año atípico debido a que la universidad se encontraba en un proceso de alternancia postpandemia, es decir la institución no estaba al 100% de sus operaciones.

Del 2021 se obtuvo una huella de $485 tCO_2eq$, donde $291 tCO_2eq$ fueron emisiones directas y $194,28 tCO_2eq$ provinieron de fuentes indirectas (Ecogea SAS, 2022). Se consideraron emisiones

directas las asociadas al consumo interno de combustible, consumo de gas natural, recarga de refrigerantes (R22), extintores (CO_2) y uso de CO_2 y NO_2 en laboratorios; en cuanto a las emisiones indirectas se contempló el consumo de energía, desplazamientos terrestres y aéreos financiados por la universidad, generación de residuos y consumo de papel.

Con la línea base de los resultados de 2021 y atendiendo lo atípico de dicho año, se procedió a desarrollar el análisis de la huella de carbono para el periodo 2022-1 (no se contaba con datos suficientes para periodos previos a la pandemia), se mantuvieron las fuentes de emisión consideradas por (Ecogea SAS, 2022) (se excluyó consumo de papel y el consumo interno de combustibles se segregó de acuerdo con la actividad, uso en plantas eléctricas y equipos de jardinería). Los resultados de este componente están compilados en las hojas de “emisiones Pance y “resultado emisiones” del Anexo 1.

Ya teniendo claros los aspectos mencionados anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados. Durante el periodo 2022-1 Icesi emitió 1214,63 tCO_2eq , con el fin de poder estimar una emisión per cápita se calculó la equivalencia para cada miembro de la comunidad universitaria asumiendo una población cercana de 7500 personas entre estudiantes, colaboradores y profesores, además tomando las 35,41 ha de Icesi (considerando Pance y Zygia) se calculó la emisión en función del área total de la universidad. (Ilustración 5). Tener una identificación de emisión por miembro de la comunidad y por área, facilitará eventuales procesos de generación de indicadores y estrategias que permitan a la universidad plantearse objetivos y metas para dar gestión al carbono institucional.

Ilustración 5 Emisión per cápita y por hectárea

Emisiones estimadas de CO_2eq

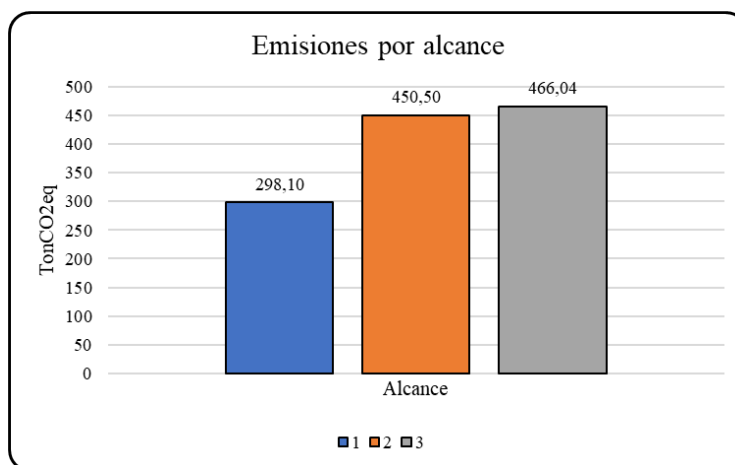
- Emisión por persona:
0,162 Ton CO_2eq
- Emisión por ha considerando Pance y Zygia:
34,3 Ton CO_2eq/ha



Nota. Estimación de emisiones de carbono equivalente por cada miembro de la comunidad universitaria y por unidad de área considerando las 2 sedes.

En términos de emisión por cada uno de los alcances, se evidenció que, el alcance 1 o todas aquellas actividades con descargas directas a la atmosfera, aportaron en menor medida CO_2 al aire, mientras que, las emisiones indirectas del alcance 2 y 3 tuvieron resultados cercanos, entendiéndose entonces que el consumo de energía eléctrica de la red interconectada y el uso de medios de transporte con sistemas de propulsión basados en combustibles fósiles, se convierten en los mayores aportantes en la medición de la huella de carbono institucional (Gráfico 1).

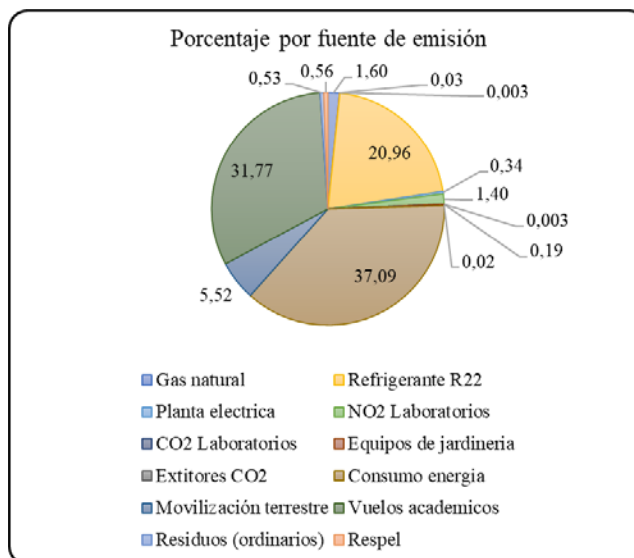
Gráfico 1 Emisiones por alcance y participación de cada fuente



Nota. Emisiones directas del alcance 1 (evaluación del campus Pance y considerando planta eléctrica de Zygia) y emisiones indirectas del alcance 2 consumo de energía eléctrica y alcance 3 movilidad y generación de residuos.

Proporcionalmente las fuentes directas de emisión con mayor aporte a la huella de carbono de la universidad fueron, del alcance 1 el uso de refrigerante R22 (actividad asociada a fugas en procesos de recarga) debido a su potencial de calentamiento global, la emisión indirecta asociada al consumo energético alcanzó la mayor participación con respecto al resto de fuentes evaluadas (cabe aclarar que a pesar de provenir de hidroeléctricas existe una emisión asociada a este tipo de actividad) y finalmente del alcance 3, los viajes aéreos fueron la actividad de mayor aporte en este segmento y segunda en términos generales, para este último alcance (Gráfico 2) es importante tener en cuenta que la movilidad terrestre, no consideró en este caso los desplazamientos de la comunidad universitaria desde y hacia Icesi, solamente la movilidad por motivos de actividades institucionales (traslado de funcionarios, visitas de campo, congresos, etc.).

Gráfico 2 Porcentaje de participación de cada una de las fuentes evaluadas



Nota. Distribución de las emisiones de CO_2eq con respecto a la total, se identifican como mayores aportantes, refrigerante R22, movilidad aérea y consumo de energía.

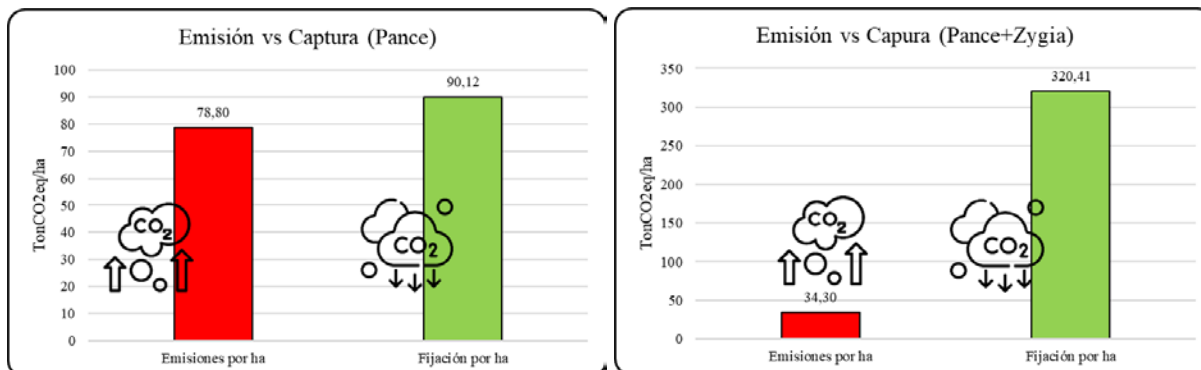
Resultados Balance

De acuerdo con los resultados obtenidos (hoja de “balance de carbono” del anexo 1) se puede establecer que el total de emisiones para el primer periodo académico 2022-1, de las actividades desarrolladas por parte de la universidad Icesi, generaron descargas de CO_2eq a la atmósfera correspondientes a 1214,63t, mientras que la capacidad de captura considerando las 2 sedes fue de 4613,08t. En términos de balance existiría un superávit de fijación de compuestos emitidos al menos para el periodo de tiempo evaluado y teniendo en cuenta la superficie total de la universidad con el ecosistema ubicado en Zygia.

Estableciendo un contraste de los resultados en función del área, se determinó que las emisiones por hectárea (solo si se considera el área de Pance), correspondieron a $78,8 \frac{tCO_2eq}{ha}$ y la capacidad de fijación de esta misma sede fue de $90,12 \frac{tCO_2eq}{ha}$, es decir que para aproximadamente 6 meses de actividad se obtuvo un balance positivo, pero seguramente al realizar un ejercicio con datos de todo el año existiría un déficit de captura (solo en el caso que no se tenga en cuenta la fijación de Zygia).

Por otro lado, en términos absolutos (áreas de Pance y Zygia), la capacidad de fijación de Icesi fue de aproximadamente $320,41 \frac{tCO_2eq}{ha}$, mientras que se emitieron $34,3 \frac{tCO_2eq}{ha}$, evidentemente se identifica que existe un balance positivo en cuanto a los parámetros evaluados en función del área, pero se debe tener en cuenta que la información es limitada y que se debe esperar una variación significativa en las emisiones al desarrollar un ejercicio que considere un periodo de 12 meses.

Gráfico 3 Balance entre emisión y captura



Nota. Emisión contrastada con la capacidad de captura en términos de CO₂eq, se evaluó solo considerándose la superficie de Pance (grafico izquierdo) y el área total sumando Zygia y Pance (grafico derecho).

Estrategias de intervención componente de biomasa-carbono

Con el fin de recopilar información sobre los ecosistemas que componen la universidad y buscando enriquecer las estrategias de gestión a través de datos que brinden un valor agregado a estas iniciativas, se plantean 2 propuestas que buscan integrar el componente de flora de la institución al campus sostenible. La caracterización forestal con un grado mayor de detalle y la valoración económica de la misma, permitirán que la institución genere nuevas alternativas de conservación y a través de estas se fomenten las actividades académicas de investigación, el relacionamiento con la comunidad y se visibilice el cuidado de los ecosistemas como una inversión económica.

La siguiente estrategia denominada “caracterización de la flora universitaria”, plantea la realización de un censo arbóreo en la sede Pance y un inventario en Zygia, el primer caso consiste en el conteo de cada una de las especies identificadas y en el segundo, a través de una muestra representativa se pretende realizar una estimación de las características boscosas de la zona.

Ambas propuestas buscan facilitar el proceso de cuantificación de la biomasa y el contenido de carbono de la Icesi, atendiendo que se tendrá información más precisa y de fácil seguimiento en el tiempo.

Como primera estrategia para que la universidad Icesi pueda caracterizar la totalidad de sus ecosistemas, se debe realizar una actualización del censo forestal de Pance y se debe desarrollar un inventario completo en Zygia (de esta estación biológica solo se cuenta con información de fauna).

Para el caso de Zygia y atendiendo las condiciones del terreno y el tipo de bosque, se propone hacer uso del método de propuesto por (Aguilar-Garavito & Ramirez, 2015), en el capítulo de “Técnicas y métodos para el establecimiento de plataformas de monitoreo permanente procesos de restauración ecológica”. Se propone la instalación de 2 parcelas, 1 ubicada en la parte baja de la estación biológica y otra en la zona superior (donde se disminuye la densidad de la cobertura de vegeta debido a las condiciones climáticas y de altura), a partir del uso de elementos tales como tuberías identificadas por color se deben construir parcelas circulares plenamente georreferenciadas por medio de sistemas de información geográfica.

Definidas las unidades de medición se deberá proceder con la identificación de cada individuo vegetal, tanto como rasantes y herbáceos como arbustivos y arbóreos. Para las mediciones del DAP, se considerarían todos los tallos con diámetro superior a 1 cm, así como estimación de diámetro de copa, altura, taxonomía, fenología, origen (especie nativa o introducida), espacio entre individuos, entre otros. La identificación individual de cada tallo deberá poseer nomenclatura única para la posterior compilación y análisis de los datos.

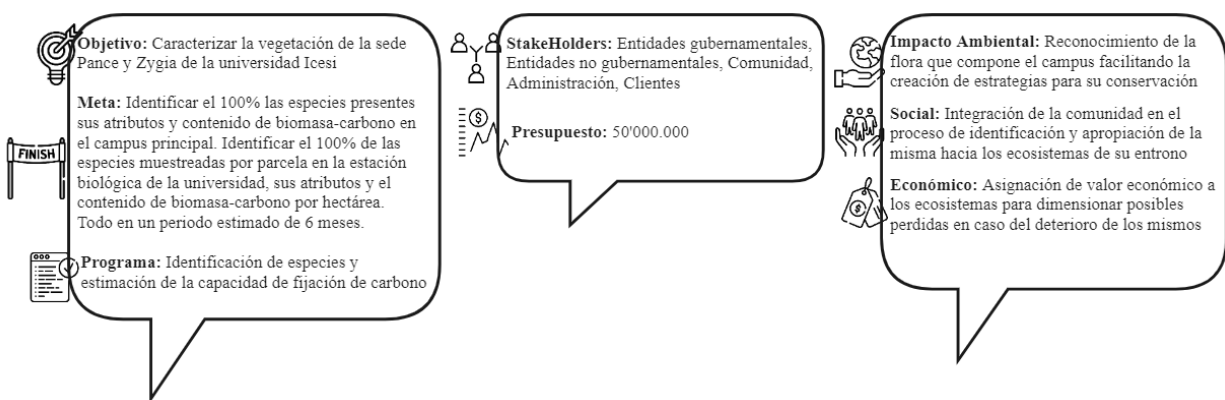
Para la consecución del ejercicio de inventario en Zygia se deberá contar con un equipo conformado por 1 ingeniero forestal para la identificación de especies, 1 botánico o biólogo (profesional de apoyo), 2 cadeneros (responsables de las labores logísticas del armado de las parcelas) y 1 baquiano (parte fundamental del grupo ya que es quien conoce la zona y las especies características). En cuanto al tiempo de trabajo, se podría realizar una identificación completa de especies por parcela en un periodo de 2 a 3 semanas.

Por otro lado, en la sede Pance se puede proceder con la realización de un censo arbóreo, en cuanto al proceso de instalación de las parcelas, se podrían seguir las instrucciones brindadas por (Yepes

et al, 2011). Para el procesamiento de la información se plantea la inclusión de atributos tales como altura, copa, estado y coordenadas (en la hoja de propuesta censo del anexo 1 se presenta una plantilla para compilar la información), esto con el fin de poder realizar seguimiento a las variaciones de crecimiento de las especies a través del tiempo.

El desarrollo de las 2 actividades propuestas se especifica en la Ilustración 6, aquí se especifican aspectos de índole financiero, ambiental y social que son abarcados por parte de las estrategias de intervención.

Ilustración 6 desarrollo de propuesta de inventario y censo arbóreo



Nota. Componentes del proyecto de inventario y censo arbóreo de Icesi, junto con consideraciones generales de actores asociados, presupuesto y aspectos de integración (social, ambiental y económico).

Finalmente, como propuesta complementaria al inventario y censo forestal, que facilite la toma de decisiones respecto a la gestión de los recursos naturales disponibles en la universidad, se plantea la valoración ambiental del servicio ecosistémico asociado a la captura de carbono prestado por ambas sedes de Icesi.

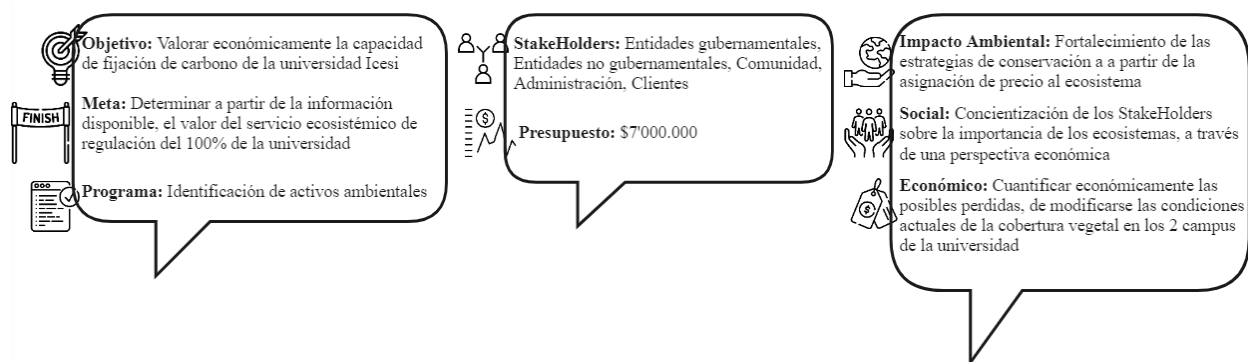
Como un primer acercamiento se puede hacer uso de (Minambiente, s.f), en la cual se presentan 3 fases de implementación, la primera de caracterización e identificación, seguido de una identificación metodológica y finalmente la implementación y valoración ambiental.

En la primera etapa se plantea el problema, el alcance, se identifican objetivos, se realiza una priorización de los servicios ecosistémicos evaluados y se caracterizan las partes interesadas respecto a su papel en el proyecto. En la segunda fase, se deben establecer valores de uso o no uso (esto relacionado con el tipo de interacción que tiene la comunidad con la zona evaluada), así como la metodología aplicable para el caso (según las propuestas por la guía) y finalmente determinar la

forma en que se recopilará la información. La última parte de la guía comprende la selección de métodos de muestreo, uso de herramientas estadísticas e interpretación de los resultados.

Ajustando la propuesta al contexto de la universidad Icesi, esta se podría enmarcar bajo la iniciativa de “Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad-TEE” de las Naciones Unidas por el Ambiente, la cual busca ampliar las retribuciones de tipo social y económica a partir de la identificación de servicios y la cuantificación de estos (Gomez & Aguirre, 2015). El desarrollo de esta propuesta se presenta en la Ilustración 7, aquí se identifican aspectos económicos, ambientales y sociales que serían abordados por la implementación de la estrategia

Ilustración 7 Desarrollo de propuesta de valoración económica de la captura de carbono



Nota. Componentes del proyecto valoración económica de Icesi, junto con consideraciones generales de actores asociados, presupuesto y aspectos de integración (social, ambiental y económico).

Recomendaciones de intervención componente huella de carbono

Cambio de refrigerantes y generación de información sobre otras fuentes de emisión para el desarrollo de propuestas de intervención apropiadas (Alcance 1)

Con la entrada en vigor en Colombia de la enmienda de Kigali, anexo al protocolo de Montreal, la cual tiene como objetivo reducir gradualmente el uso de los gases con potencial de calentamiento global (PCG), se tiene contemplado para el 2024 congelar el consumo de los hidrofluorcarbonados (HFC) y en el 2045 reducir la línea base del consumo en un 80%. (Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible, 2020).

Pensando en esto, es importante que, desde el área de planta física, específicamente la sección de mantenimiento responsable del sistema de aires acondicionados de la universidad, se trabaje en una política y un plan de cambio de los refrigerantes que actualmente se usan como lo es el R22, así como que se realicen acciones de monitoreo y control de hidrofluorocarbonos (HFC) y se apliquen buenas prácticas de refrigeración (BPR) con actividades de recuperación, reutilización y gestión de estos gases.

La primera opción de esta estrategia es, en conjunto con la empresa contratista encargada de la operación del sistema de aire acondicionado, revisar opciones de reutilización del refrigerante después del proceso de mantenimiento, en caso de ser necesario plantear el uso de filtros para reducir posibles eventos de contaminación cruzada y permitir posterior reingreso al sistema del gas manipulado. Si pasado el proceso anteriormente mencionado no se logra reutilizar el refrigerante, este debe ser gestionado como residuo peligroso (disposición del gas residual).

Como segunda medida, es necesario conocer todos los equipos de refrigeración usados al interior del campus, como lo son las neveras, refrigeradores, cuartos fríos y ultra congeladores, para así identificar que tipos de refrigerante están siendo utilizadas por cada uno de ellos y su potencial de reincorporación como lo planteado en la estrategia de reutilización del gas. Es importante llevar un registro minucioso de los mantenimientos realizados a los sistemas de refrigeración, para prevenir posibles fugas, así como programar a corto o mediano plazo la sustitución total de los gases actualmente operativos (especialmente el R22) y de los equipos antiguos de aire acondicionado que no permitan el reemplazo del refrigerante por aspectos de incompatibilidad.

Sensores para regulación de luz y aire acondicionado, optimización física de las fuentes naturales de ventilación e iluminación (alcance 2)

Complementando las iniciativas desarrolladas al interior del campus, como han sido el reemplazo de las luminarias fluorescentes por lámparas LED y la instalación de paneles solares para reducir el consumo de energía eléctrica, es importante la instalación de sistemas de encendido y apagado de luminarias por medio de sensores de movimiento, los cuales solo mantendrían la iluminación al detectar la presencia de personas, reduciendo la demanda energética y por ende las emisiones y costos asociados a la misma.

También es necesario continuar con la implementación de campañas de ahorro de energía, como la desconexión de iluminación y equipos de cómputo en oficinas y el aprovechamiento de luz natural en espacios donde la infraestructura lo permita, limitando el uso de cortinas o persianas en horarios donde la luz del día sea óptima, además de permitir el flujo de aire natural a partir de la apertura de ventanas (reduciendo la demanda y operación de los sistemas de aire acondicionado). Estas medidas deben ser coordinadas desde las oficinas de planta física y servicios generales, salud ocupacional y medio ambiente, con el fin de buscar acuerdos con la comunidad universitaria, mostrando los beneficios obtenidos por la implementación de estas estrategias. Por otro lado, es importante que se identifiquen horarios y espacios para iniciar planes piloto para la implementación de estas recomendaciones y se pueda realizar un análisis de impacto de las iniciativas planteadas.

Generación de información respecto a viajes e iniciativa TRAM (alcance 3)

Para poder calcular de forma más precisa las emisiones asociadas a la movilidad de la comunidad universitaria, se necesita que, en el caso de los vuelos académicos y viajes terrestres financiados por Icesi, el área encargada de compras y suministros, optimice el sistema de registro de cada una de las solicitudes que llegan sobre desplazamientos, incluyendo variables como, ciudad de origen y llegada, con el fin de fijar distancias de recorrido y así poder facilitar el cálculo por medio factores de emisión (requiere el uso de distancias, dato que no es compilado por el departamento de compras) de las emisiones generadas en cada desplazamiento, para posteriormente consolidar la información y establecer la huella de carbono de este segmento.

En cuanto a la movilidad terrestre (desplazamientos diarios desde y hacia Icesi), como parte de las estrategias que se han desarrollado al interior del campus, en el 2022 se firmó el convenio entre TRAM Inc y la Universidad Icesi, el cual tiene como propósito el desarrollo de la iniciativa “Universities foodprint network” la cual busca generar planes, programas o acciones necesarias para reducir la huella de carbono, generada por la movilidad, a través de decisiones de movilidad sostenible, estas acciones buscan involucrar a toda la comunidad universitaria a través de un aplicativo móvil. atendiendo que generaran un impacto en los resultados al momento de realizar los cálculos de la huella de carbono y estimación del balance.

Estrategias de mitigación basadas en naturaleza y ciencia

Teniendo en cuenta los resultados de huella de carbono, se debe plantear una estrategia de mitigación que se centre en disminuir inicialmente los aspectos que están generando emisiones de GEI en las actividades propias de la Universidad, esta estrategia puede ir acompañada de la elaboración de un mapa de descarbonización, considerando temas culturales asociados a los comportamiento de la misma comunidad universitaria, buscando generar practicas sostenibles tanto al interior de la institución, como en cada uno de los hogares de los miembros de Icesi y se tenga un impacto en la metas propuestas por la institución en cuanto a reducción de huella (las cuales se espera se empiecen a generar haciendo uso de herramientas como las propuestas en el desarrollo de este trabajo).

Considerando la importancia de cuantificar y plantear indicadores de seguimiento, el uso de herramientas de caculo que permitan conocer como primer acercamiento un estimado de la huella de carbono institucional, permitirá a Icesi establecer metas de reducción de las emisiones de carbono, toda vez que se espera un desarrollo interdisciplinar de estrategias y propuestas, generadas a partir del ejercicio de balance ya presentado.

Identificación de limitantes

Se deben considerar entre otras cosas, algunos factores limitantes que permitan una posterior mejorara en cuanto a la generación de propuestas para dar gestión a aspectos tales como, el cálculo de las emisiones asociadas a la movilidad de la comunidad universitaria, considerando que este es uno de los aspectos de mayor aporte a la huella de carbono institucional. Promover actividades académicas en la sede Zygia con el fin de generar información especialmente de sus características ecosistémicas. Identificar fuentes de emisión que no llegaron a ser consideradas en los cálculos de este documento, tales como el uso de fertilizantes o la operación de la planta de compostaje.

Conclusiones

Según los requerimientos de recolección y procesamiento de información en el contexto de la universidad Icesi, la metodología propuesta por el Protocolo Global para Inventarios de Emisión, se presenta como una guía práctica y aplicable que permite genera estrategias de cuantificación de la huella de carbono institucional. Por otro lado, los modelos del IDEAM para estimar la capacidad de captura de carbono, son herramientas que podrían ser utilizadas por la universidad a través de proyectos académicos para obtener un acercamiento a su capacidad de fijación de carbono tanto en Pance como Zygia.

A través de matrices simples de Excel, utilizadas como primera versión para una plataforma que facilite el cálculo de huella de carbono, contenido de biomasa-carbono y su posterior balance, fomentan la creación de una línea base para que la universidad Icesi tenga posterior capacidad para tomar decisiones y plantear estrategias de gestión del carbono producido por sus actividades académicas y capturado gracias a los ecosistemas de sus sedes. Debido a esto surge la necesidad de nutrir con información, desarrollar y mejorar nuevas versiones de la plataforma que se adapten a los cambios y necesidades de la institución.

De acuerdo con los resultados obtenidos, Icesi puede capturar más carbono del que produce si se tienen en cuenta las 2 sedes, pero se deben considerar algunos de los siguientes aspectos. De Zygia no se conocen datos reales de biomasa-carbono, los cálculos en este documento fueron fruto de estimaciones e información tomada de la literatura, de Pance se hicieron cálculos sin considerar altura de los árboles (ya que no se contaba con dicho dato), parámetro fundamental para obtener un resultado más certero de acuerdo con el uso de ecuaciones alométricas.

Para la huella de carbono y debido a la disponibilidad de información solo se pudo procesar emisiones del 2022-1, es decir un periodo de aproximadamente 6 meses. Por otro lado, las emisiones indirectas del alcance 3, no tuvieron en cuenta la movilidad asociada a los desplazamientos realizados por parte de la comunidad universitaria desde sus hogares hasta Icesi y viceversa (a través de Proyectos como TRAM se podrá obtener esta información)

Se deben considerar más fuentes de emisión de las que fueron evaluadas en este documento, se podrían obtener mejores resultados si se hacen evaluaciones de fuentes como las emisiones asociadas al proceso de compostaje, uso de fertilizantes, consumo de papel, entre otras.

Es importante realizar contrastes de emisión y captura realizando una diferenciación entre la sede Pance y la suma de las áreas de Pance y Zygia, ya que, si se considera un balance teniendo en cuenta solo la cobertura de ambas sedes, los resultados podrían generar confusión al tender siempre a una fijación positiva de CO_2eq debido a la capacidad ecosistémica de Zygia

Referencias

- Aguilar-Garavito, M., & Ramirez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9281/monitoreo_restauracion_baja_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarez et al. (2011). Tree above-ground biomass allometrics for carbon stocks estimation in the natural forest of Colombia. *Forest Ecology and Management*. Obtenido de <http://ctfs.si.edu/Public/pdfs/ToDelete/Alvarez%20et%20al%202012.pdf>
- CVC. (2021). *Visor Geográfico Avanzado Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca*. Obtenido de Portal GeoCVC: https://geo.cvc.gov.co/visor_avanzado/
- Dias, A., & Arroja, L. (2011). Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint – case study of office paper. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2011.11.005
- Ecogea SAS. (2022). *Medición y Analisis de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) - huella de carbono, generadas directa e indirectamente por las actividades de la universidad Icesi desde el 1 de enero al 31 de diciembre de 2021*. Bogotá.
- EIA, U. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Obtenido de Catálogo de flora del Valle de Aburrá: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co>
- EPA, E. (2014). *Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories*. Center for Corporate climate Leadership. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf
- Fenner et al. (2018). The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2018.07.012
- Gomez, R., & Aguirre, J. (2015). *VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: ESTUDIOS DE CASO EN COLOMBIA, ECUADOR Y PERÚ*. Lima: USAID. Obtenido de https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KZX2.pdf

- Guevara Ruiz, L. I. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA FLORA LEÑOSA DE LA UNIVERSIDAD ICES*. Santiago de Cali: Universidad Icesi.
- IPCC. (2007). *Fourth Assessment Report; Climate Change 2007 the Physical Science Basis*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC, I. P. (2006). *Basic search*. Obtenido de EFDB Emission factor database:
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- Mendoza, H. (2008). *COMPILACIÓN DE LOS INVENTARIOS RAP DE VEGETACIÓN EN COLOMBIA*. Bogotá: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS. Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31183/10-053.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20>.
- Minambiente. (s.f). *GUÍA DE APLICACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL*. Bogotá: Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles. Obtenido de [https://www.andi.com.co/Uploads/Guía%20de%20Aplicación%20de%20la%20Valoración%20Económica%20Ambiental%20\(00000002\).pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/Guía%20de%20Aplicación%20de%20la%20Valoración%20Económica%20Ambiental%20(00000002).pdf)
- Phillips et al. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Bogotá: a. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Estimacion+Carbono+2005.pdf/e274a3ce-a49c-45d6-8799-67d509edfd59>
- Shi et al. (2015). What leads to low-carbon buildings? A China study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2015.05.037
- Syafrudin et al. (2020). Carbon Footprint of Academic Activities: A Case. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/448/1/012008
- UN, U. (2015). *ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT*. Paris: Framework Convention on Climate Change. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>
- Unep. (2019). *UN Environment “walks the talk” on carbon neutrality*. Obtenido de UN environmental Programme: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/un-environment-walks-talk-carbon-neutrality>

Universidad Icesi . (2022). *Boletín estadístico* . Cali.

World Agroforestry. (2016). *Worldwide "open Acces" tree functional attributes and ecological database*. Obtenido de tree functional attributes and ecological database:
<http://db.worldagroforestry.org>

WRI, W. R. (2014). *Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades*. Geneva: World Business Council for Sustainable Development.

Yepes et al. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales- IDEAM. Obtenido de
http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimación+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108