FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

MARÍA FERNANDA ARDILA MELÉNDEZ
AURA IVONNE TOVAR LONDOÑO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020

FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Trabajo de grado bajo la modalidad de Investigación - Innovación para optar para el título de Ingeniera Ambiental

AUTORES:
María Fernanda Ardila Meléndez
Aura Ivonne Tovar Londoño

DIRECTOR:
Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría
PhD. Estudios Ambientales y Rurales

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniería ambiental
Bogotá
2020

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a nuestras familias por el apoyo incondicional durante toda nuestra etapa formativa y en especial durante este último momento, agradecemos también al profesor Álvaro Martín Gutiérrez por su dedicación y paciencia, al profesor Jaime Moreno por los aportes que nos brindó, a todos aquellos profesores que enriquecieron nuestra etapa formativa con sus conocimientos y su pasión, y por último, a todos aquellos amigos y compañeros que nos acompañaron en todo nuestro crecimiento tanto personal como profesional durante nuestra estancia en la gloriosa Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 3
Índice de ilustraciones 5
Índice de gráficas 6
Índice de tablas 6
RESUMEN 8
Palabra claves 8
ABSTRACT 9
Keywords 9
INTRODUCCIÓN 10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11
OBJETIVOS 12
Objetivo general 12
Objetivos específicos 12
JUSTIFICACIÓN 12
MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE 13
HUELLA DE CARBONO 13
ISO 14064 18
Protocolo de Gases Efecto Invernadero: 25
Estrategias para la reducción de la huella de carbono 30
Barreras para la implementación de estrategias de reducción de la huella de carbono 35
METODOLOGÍA 35
CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO 36
IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN 43
CUANTIFICACIÓN DE LA POSIBLE REDUCCIÓN 45
RESULTADOS 47
CONSUMO DE COMBUSTIBLE 47
GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS 48
CONSUMO DE PAPEL 49
CONSUMO DE ENERGÍA 49
EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTE 50
REMOCIÓN DE GEI 51
INCERTIDUMBRE Y CALIDAD DE LOS DATOS 52
HUELLA DE CARBONO 55

IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REDUCCIÓN 57
Estrategias para reducción de la huella de carbono derivada del consumo de energía 57
Estrategias para reducción de la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos 76
Estrategia para reducción de la huella de carbono derivada del consumo de combustible 84
Estrategia para reducción de la huella de carbono derivada del consumo de papeleria 88
Estrategia para la compensación de la huella de carbono a partir de la remoción de gei 90
DISCUSIÓN 93
CONCLUSIONES 104
RECOMENDACIONES 105
BIBLIOGRAFÍA 107
ANEXOS 119

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Efecto Invernadero. 14
Ilustración 2. Gases Efecto Invernadero 14
Ilustración 3. Ámbitos de emisiones. 17
Ilustración 4. Pasos para determinar las emisiones de GEI a nivel corporativo 26
Ilustración 5. Línea de tiempo de la construcción del concepto de Campus sostenible. 33
Ilustración 6. Metodología para la determinación de la huella de carbono de la facultad Medio Ambiente y Recursos Naturales de UDFJC. 36
Ilustración 7. Zona de Estudio: Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales 36
Ilustración 8. Metodología para el cálculo de la huella de carbono. 43
Ilustración 9. Jerarquía de los Residuos Sólidos. 56
Ilustración 10. Túnel solar 58
Ilustraciones 11, 12 y 13. Domos de túneles solares. 58
Ilustración 14. Difusor. 58
Ilustración 15. Túnel solar – construcción e instalación. 59
Ilustración 16. Fenómeno piezoeléctrico. 60
Ilustración 17. Baldosas Pavegen. 61
Ilustración 18. Distribución de las baldosas piezoeléctricas Pavegen 62
Ilustración 19. Diagrama de bloques del prototipo. 64
Ilustración 20. Sensor de corriente HALL ACS712. 64
Ilustración 21. Microcontrolador PIC12F1840 65
Ilustración 22. Módulo Xbee Serie 2. Ref.: XB24-Z7WIT-004 65
Ilustración 23. Transformador de 120V a 12V. 65
Ilustración 24. Diagrama de transmisión de datos 66
Ilustración 25. Diagrama funcionamiento sensor de movimiento PIR. 68
Ilustración 26. Diagrama de funcionamiento del sensor de luz 70
Ilustración 27. Software Faronics Insight. 75
Ilustración 28. Código de colores actual para las canecas de residuos sólidos en la UDFJC. 77

Ilustración 29. Código de colores para la separación de residuos sólidos establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.....77
Ilustración 30. Ubicación de las pilas de compostaje.....80
Ilustración 31. Dimensión de las pilas de compostaje. 80
Ilustración 32. Ubicación del sistema de lombricultura 82
Ilustración 33. Cama para lombricultura.....82
Ilustración 34. Camas para lombricultura en invernadero.....82
Ilustración 35. Diseño del jardín vertical en el edificio natura.....93
Ilustración 36. a. Sedum praealtum **b.** Clitoria ternatea **c.** Pentalinon luteum. 93
Ilustración 37. Ahorro en consumo de energía de papel de fibra virgen a papel reciclado 101

Índice de gráficas

Gráfica 1. Participación de los diferentes componentes de la huella de carbono.....55
Gráfica 2. Eficiencia de los túneles solares Vs luminarias comerciales. 59
Gráfica 3. Consumo energético de los ordenadores. 75
Gráfica 4. Distribución de los residuos sólidos en FAMARENA - Sede Vivero. 97
Gráfica 5. Porcentaje de origen por localidad de los estudiantes de la FAMARENA 106

Índice de tablas

Tabla 1. Línea del tiempo del Cambio Climático y GEI. 15
Tabla 2. Clasificación de las emisiones o remociones de GEI. 19
Tabla 3. Puntuación de los criterios de calidad de los datos. 24
Tabla 4. Calidad global de los datos.....25
Tabla 5. Huella de carbono de la ASAB. 26
Tabla 6. Huella de carbono de la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (UDFJC). 27
Tabla 7. Huella de Carbono de la Universidad de la Salle – Sede Candelaria.....28
Tabla 8. Huella de carbono de la Universidad Politécnica de Cartagena. 29
Tabla 9. Huella de carbono del Instituto Tecnológico Superior 29
Tabla 10. Factores de emisión 38
Tabla 11. Ecuaciones para el cálculo de las huellas de carbono de las fuentes de emisión identificadas.....38
Tabla 12. Factores de conversión para la obtención de la biomasa aérea en unidades de toneladas por hectáreas. 40
Tabla 13. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo eléctrico. 44
Tabla 14. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la generación de residuos sólidos. 44
Tabla 15. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo de combustible. 45
Tabla 16. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo de papelería 45
Tabla 17. Ecuaciones usadas para determinar la huella de carbono con las reducciones generadas por las estrategias. 46

Tabla 18. Salidas de campo realizadas en FAMARENA - Sede Vivero para el periodo 2019-1 a 2019-3 con sus respectivas distancias recorridas, consumos de diésel y trabajo asociados. 48
Tabla 19. Caracterización de los residuos sólidos de FAMARENA - Sede Vivero para el año 2019. 49
Tabla 20. Consumo de energía de la FAMARENA Naturales - Sede Vivero para el año 2019 50
Tabla 21. Emisiones generadas en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la UDFJC por componentes. 50
Tabla 22. Incertidumbre del conjunto de datos de energía 52
Tabla 23. Criterios de calidad de los datos. 53
Tabla 24. Calidad global de los datos 54
Tabla 25. Huella de carbono total de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (FAMARENA) - Sede Vivero para el año 2019. 55
Tabla 26. Presupuesto estimado para la estrategia HC_EE1. 59
Tabla 27. Presupuesto estimado para la estrategia HC_EE2. 62
Tabla 28. Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE4 67
Tabla 29. Ubicación de los sensores de movimiento en la facultad. 69
Tabla 30. Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE4 70
Tabla 31. Vida promedio de las luminarias 71
Tabla 32. Inventario de luminarias de la FAMARENA - Sede Vivero. 72
Tabla 33. Reemplazo de luminarias de la FAMARENA 72
Tabla 34. Presupuesto de la estrategia HC_EE5 74
Tabla 35. Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE6 76
Tabla 36. Presupuesto estimado de la estrategia HC_GR1 78
Tabla 37. Presupuesto estimado para estrategia HC_GR2 84
T**abla 38**. Ejemplo del registro del consumo de combustible diario por conductor. 86
Tabla 39. Perfil energético de la FAMARENA - Sede Vivero. 94
Tabla 40. Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica 97
Tabla 41. Reducción de la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos 99
Tabla 42. Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de combustible 100
Tabla 43. Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de papelería 101
Tabla 44. Porcentaje de participación de las especies vegetales en el jardín vertical 102
Tabla 45. Reducción de la Huella de Carbono por estrategia 103
Tabla 46. Huella de Carbono de la FAMARENA con la reducción de las estrategias. 104

RESUMEN

Por medio del presente trabajo se determinó la Huella de Carbono (HC) de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas para el año 2019, tomando como referencia la metodología planteada en la norma internacional ISO 14064:1 – 2006, bajo la cual se identificaron cuatro fuentes de emisión: el consumo de energía eléctrica, la generación de residuos sólidos, el consumo de papelería y el consumo de combustible derivado de las prácticas académicas. Se evaluaron las actividades asociadas a cada una de las fuentes identificadas, para poder recolectar los datos pertinentes y junto con los factores de emisión respectivos para cada actividad, se realizó el cálculo de las emisiones de CO_2 equivalente, obteniéndose una huella de carbono total 481,92 ton CO_2 equivalente, distribuidas en: 80,03 ton CO_2 eq derivadas del consumo de energía eléctrica; 365,99 ton CO_2 eq asociadas a la generación de residuos sólidos; 0,57 ton CO_2 eq correspondientes al consumo de papel y 35,32 ton CO_2 eq derivadas del consumo de combustible a través de las prácticas académicas.

Cabe mencionar que se realizó un análisis de la calidad de los datos involucrados en el cálculo de la huella de carbono del campus, de acuerdo a lo expuesto en la Guía de la Huella Ambiental de Productos y Organizaciones de la Unión Europea, publicada en el año 2013, por medio de la cual se obtuvo que la mayoría de los datos presentaban un nivel de calidad muy bueno.

Finalmente se procedió a diseñar una serie de estrategias encaminadas a reducir y compensar la huella de carbono de la facultad, las cuales se enmarcan en 5 enfoques: el primero de ellos se encuentra dirigido a reducir el consumo de electricidad en el campus, el segundo se focaliza en el manejo adecuado de los residuos sólidos generados en la facultad, así como su reducción; el tercer y cuarto enfoque, están dirigidos al proceso de contratación de la flota automotriz por parte de la universidad para el desarrollo de las prácticas académicas y al uso responsable de los productos de papelería; y el último, se encuentra enfocado en la implementación de un sistema que permita la fijación de carbono. Para cada estrategia planteada se realizó una breve descripción y una estimación tanto de los costos que se verían involucrados al implementarla como de la reducción que se conseguiría de la huella de carbono; obteniéndose un presupuesto asociado total de $163.751.096, así como una posible reducción del 30% aproximadamente del valor de la HC del año 2019.

Palabra claves

Huella de carbono, emisiones de CO_2, cambio climático, calentamiento global, energía eléctrica, residuos sólidos.

ABSTRACT

In this research, Medio Ambiente y Recursos Naturales School's carbon footprint of the year 2019 was found, taking as a reference the ISO 14064-1:2006 methodology. There was identify four emissions sources: electrical energy consumption, generation of solid waste, fuel consumption derived from academic practices, and paper consumption. The activities associated with each identified sources were evaluated in order to collect the relevant data, and with the respective emission factor, the CO_2 equivalent emissions value were found, giving as a result a carbon footprint of 481.92 ton CO_2, distributed in: 80.03 ton CO_2 eq derived from electrical energy consumption, 365.99 ton CO_2 eq come from the solid waste generation, 0.57 ton CO_2 eq and 35.32 ton CO_2 eq associated with paper and fuel consumption, respectively.

Additionally, a quality analysis of the data involve in carbon footprint calculating was made, taking as a reference the "Huella Ambiental de Productos y Organizaciones" guide, published by the European Union in 2013. Based on that guide, it was obtained that the majority of the data had a good quality level.

Finally, strategies to reduce and compensate the campus's carbon footprint were formulated, which was distributed in 5 approaches: the first one was aimed at reduce the electrical energy consumption, the second one was made to create a correct solid waste management, the third and fourth ones were aimed at the process of automotive fleet contracting by the university and the responsible use of stationery products respectively; and the last approach were aimed at a carbon sequestration system construction. For each proposed strategy, a brief description and an implementation costs estimation were made, as well as a prediction of the carbon footprint reduction if strategies are implemented. It was obtain a total carbon footprint reduction of 30% approximately, and a budget of about $163'751.096.

Keywords

Carbon footprint, CO_2 emissions, climate change, global warming, electrical energy, solid waste

INTRODUCCIÓN

Los gases efecto invernadero (GEI) son compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del sol, reteniendo el calor que este emite (MADS, 2020). Dicha concentración de gases provoca el efecto invernadero, que es el aumento de la temperatura provocado por esta retención de la energía solar. Bolin, Döös, Jäger, & Warrick (1986) explican que este efecto provoca que la energía del sol que llega a la tierra se devuelva a la atmósfera más lentamente, por lo que se mantiene más tiempo junto a la superficie, elevando la temperatura de la misma. Dicho efecto ocurre naturalmente y posibilita la vida en el planeta tal y como se conoce, sin la existencia de este se estima que la temperatura media de la tierra seria de -18°C y no de 15°C como lo es actualmente (Centre d'Educació Ambiental de la Comunitat Valenciana, 2015).

Sin embargo aunque este efecto es totalmente natural, los procesos antropogénicos han provocado que la concentración de los GEI en la atmósfera haya aumentado en un 30% desde el siglo pasado (CAR, 2013), ocasionando la aparición del calentamiento global, que produce en consecuencia, entre otros fenómenos, cambios climáticos regionales, ascenso en el nivel del mar, afectaciones en la biodiversidad y en el sistema productivo global, disminución de las reservas de agua, y alteración en la salud pública (Barboza, 2013).

A raíz de lo anterior, surge una gran preocupación a nivel internacional por el futuro del planeta y el bienestar de las generaciones venideras, lo que incentivó a la toma de decisiones por parte organismos internacionales, con la finalidad entre otras cuestiones, de que las emisiones de GEI se redujeran, y por consiguiente el efecto invernadero disminuyera su impacto. En este contexto, nace la huella de carbono, como una herramienta para la cuantificación de las emisiones y como apoyo para fundamentar la toma de decisiones que permitieran reducir su manifestación.

IHOBE (2012) declara que antes de aspirar a reducir las emisiones de GEI, es necesario primero medir su estado inicial y monitorear sus fuentes generadoras con mediciones periódicas, es decir, es necesario implementar un inventario de emisiones de GEI. En este sentido, la huella de carbono, definida como un instrumento para la cuantificación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en toneladas de CO_2 equivalentes, que son liberadas a la atmósfera por el desarrollo de cualquier actividad, por una organización o un individuo (CAR, 2013), resulta ser el instrumento ideal para conseguir dicho inventario.

Este indicador o instrumento permite, por un lado, conocer a profundidad la actividad, organización o producto impactante, con el fin de identificar los puntos de mejora a nivel ambiental y económico, y por otro lado, comunicar a los usuarios el impacto que la organización, actividad o producto está teniendo sobre el cambio climático, para que se definan criterios para la adopción de un compromiso ambiental (IHOBE, 2012).

Dicho lo anterior, la huella de carbono como herramienta para la valorar las emisiones de GEI, ha tenido gran popularidad entre las organizaciones y empresas, y en torno a ella se han formulado varias metodologías que estandarizan la medición de este indicador; entre las más utilizadas y con mayor reconocimiento internacional se encuentra el *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)* formulado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, y la norma internacional ISO 14064:2006, que estructurada en tres partes, especifica el proceso de cuantificación e informe de emisiones y remociones de GEI, de formulación de proyectos para la reducción de GEI, y por último, de validación y verificación de los GEI declarados (Ministerio para la transición ecológica).

Con el presente trabajo, se busca determinar el valor de la huella de carbono, de acuerdo a las dos metodologías anteriormente nombradas, del campus de la Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (FAMARENA - Sede Vivero), de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, con el objetivo de emplear la información obtenida, para formular medidas y estrategias acertadas que permitan reducir la emisión y aumentar la remoción de gases de efecto invernadero de la facultad. Se pretende mediante la futura adopción de las medidas disminuir el impacto ambiental del campus y adoptar un comportamiento sostenible, que sirva de ejemplo y pueda ser replicable hacia la sociedad.

Este documento se estructura de la siguiente manera: inicialmente, se encuentra la justificación y los objetivos de esta investigación, a continuación, se encuentra el marco teórico, que aborda los temas primordiales que giran alrededor de la cuantificación de la huella de carbono y la definición de las estrategias que permitan su reducción, y la metodología, que demuestra los mecanismos de obtención y tratamiento de datos adoptados por los autores de acuerdo a la literatura consultada, y la estructuración dada para la formulación de las estrategias y la cuantificación de su reducción. Finalmente, se presenta la discusión, las conclusiones y las recomendaciones, dadas a partir de la elaboración de este proyecto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas de la actualidad a nivel mundial corresponde al calentamiento global, ligado directamente al cambio climático; dichos fenómenos amenazan tanto el planeta tierra como a la salud de la población humana, haciéndose necesaria la búsqueda de estrategias para mitigar y disminuir la generación de los gases que son responsables de la producción del efecto invernadero y en parte del calentamiento global (Balkenhol, Castillo, Soto, Feijoo, & Merino, 2018). En respuesta de este problema se creó el indicador de la huella de carbono, el cual cuantifica en toneladas equivalentes de CO_2 las emisiones de GEI hacia la atmósfera.

En este contexto, el cálculo de la huella de carbono para la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero, fue hallada en el año 2016, determinando la cantidad de gases efecto invernadero que fueron liberados a la atmósfera por las actividades que se realizaron en el campus. Dado al cambio de las dinámicas estudiantiles y de la densidad poblacional de esta, se hace necesario calcular nuevamente la huella de carbono, con el fin de que las estrategias propuestas tengan validez espacio temporal.

Esta facultad, siendo la formadora de futuros profesionales en el ámbito ambiental, debe además de proporcionar las herramientas necesarias para que los estudiantes desde su etapa formativa sean capaces de crear estrategias que contribuyan a la mitigación del cambio climático, ser un ejemplo de sostenibilidad hacia la sociedad, y mantener las emisiones de contaminantes lo más reducidas posibles además de mitigar sus impactos.

La ausencia de tecnologías en la facultad que disminuyan tanto el consumo de energía, como la generación de residuos sólidos, y a su vez, la emisión directa e indirecta de GEI asociados a las actividades cotidianas, resulta ser el detonante para que la cantidad de toneladas de CO_2 emitidas sea alta, dando un valor de huella de carbono más alto de lo que debería tener una facultad dedicada a los resolución de problemáticas ambientales, impidiendo que la universidad sea un ejemplo de sostenibilidad hacia la sociedad. La reducción de la huella de carbono debe darse mediante la creación de tecnologías que sean apropiadas a las condiciones de la facultad y que sean propicias para su continua aplicación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Formular estrategias que permitan la disminución de la huella de carbono mediante la mitigación y prevención de la emisión de GEI, en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, apuntando a la sostenibilidad de la misma.

Objetivos específicos

- Realizar el cálculo de la huella de carbono de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Identificar estrategias que permitan la reducción y mitigación de las emisiones de GEI generadas en la facultad.
- Cuantificar la reducción posible de la huella de carbono de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUSTIFICACIÓN

Los procesos de cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación del ecosistema, la acidificación del océano, entre otros, son causados y han sido acelerados por las actividades insostenibles del ser humano (Klaniecki, Wuropulos , & Persson, 2019). Las demandas actuales de los recursos naturales superan por mucho la capacidad del planeta de producirlos, absorberlos y neutralizarlos, lo que ha conducido al agotamiento y degradación ambiental global (UNDP, 2012). En vista de lo anterior, se ha venido creando una mayor conciencia acerca de la escala y el alcance que ha tenido el impacto antrópico en el planeta, provocando que se desarrollen esfuerzos internacionales para que se frene esta degradación ambiental y se incentive el desarrollo sostenible (Klaniecki, Wuropulos , & Persson, 2019).

Dicho término (Desarrollo Sostenible - DS), originado en el año 1987 por la Comisión Brundtland en su informe “nuestro futuro común”, es interpretado desde su aparición como aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes y no compromete la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones; en ese entonces, según la CEPAL, se buscaba atender la demanda de una protección generalizada del medio ambiente, y asegurar el progreso de los países que están en un menor nivel de desarrollo. La declaración de Río Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, dada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) en la ciudad de Río de Janeiro en 1992, formaliza este concepto mediante los denominados principios de Río; 20 años después de dicho evento, se realiza la cumbre Rio+20 donde se da inicio al proceso de establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Estos ODS son una serie de 17 grandes propósitos sociales, económicos y medioambientales por medio de los cuales se traza la ruta para alcanzar un equilibrio entre las variables económicas y ambientales, incorporando temas como el cambio climático y el consumo sostenible. Además, reconoce por primera vez la importancia de la paz, la justicia y el rol fundamental que desempeñan los gobiernos e instituciones democráticas para lograr un desarrollo (Herrero, 2018).

A su vez, estos objetivos van acompañados de una serie de compromisos y metas definidas en la Agenda 2030 del año 2015, que fueron acordados por gran cantidad de países, dentro de los cuales se encuentra Colombia, que ha integrado estos objetivos y compromisos por medio de su Política de

Crecimiento Verde, la cual se enfoca directamente en 9 ODS e indirectamente en 7 de ellos (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 23).

Por otro lado, el objetivo número 13, denominado 'Acción por el clima', se basa en la problemática desencadenada por el descontrolado aumento de las emisiones de GEI, las cuales generan cambios permanentes en el sistema climático (UNDP, 2020). Para contrarrestar esta problemática, los países se comprometieron en la Agenda Internacional 2030 a reducir sus emisiones de GEI para dicho año; para el caso específico de Colombia su meta es la reducción del 20% de sus emisiones.

En ese orden de ideas, se busca que todo tipo de organizaciones tengan la iniciativa de buscar alternativas sostenibles para el desarrollo de sus actividades, sin discriminar los centros educativos; Castro & Jabbour declararon en el año 2013 que las universidades, por su carácter formativo, tienen compromisos con la sociedad para transformar las actividades que deterioran el ambiente y promover la sostenibilidad ambiental.

Las instituciones de educación superior, al ser las formadoras de la sociedad del futuro, según Mondéjar, Viñoles, Bastante, Collado & Capuz (2011), deben ser las primeras que establezcan sistemas de gestión ambiental que permitan a los estudiantes aprender y emprender acciones para el cambio climático. Se reconoce que desde 1972, las universidades han reconocido su interdependencia entre sus actividades y los impactos ambientales que provocan; en este contexto, los campus sostenibles, son la apuesta de las universidades para incorporar, desde sus currículos, operaciones e investigaciones, los postulados del desarrollo sostenible, para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales que provoca (Parrado & Trujillo, 2015).

Dicho lo anterior, y teniendo en cuenta que la organización objeto de estudio es la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero, se considera pertinente la determinación y desarrollo de estrategias que permitan que el campus en cuestión esté encaminado hacia la sostenibilidad, identificando la huella de carbono, expresada en toneladas de CO_2 equivalente, asociada a sus actividades para poder llevarla al mínimo posible y poder contribuir con el marco en el que trabaja la política nacional de crecimiento verde y las metas de los ODS.

MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

HUELLA DE CARBONO

En la atmósfera existen varios gases, algunos de estos son los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales permiten que la luz del sol (radiación de onda corta) pase a través de atmósfera y caliente la superficie de la tierra y los océanos, este calor se libera en forma de luz infrarroja (radiación de onda larga); parte de esta luz regresa al espacio, mientras que otra parte es absorbida por los GEI e irradiada de vuelta a la superficie terrestre, generando el conocido 'Efecto Invernadero', este fenómeno que ocurre de manera natural es vital para la supervivencia en el planeta, ya que mantiene su superficie caliente, permitiendo la vida tal como la conocemos (Doll & Baranski, 2011).



***Ilustración 1**. Efecto Invernadero. Fuente: https://www.diario.eco/por-que-esta-cambiando-el-clima-que-es-el-efecto-invernadero/*

A pesar de que este fenómeno es de carácter natural, se ha visto afectado por la actividad antrópica, la cual genera un incremento en los GEI y por ende en la temperatura de la superficie terrestre. Dentro de los principales gases efecto invernadero se encuentran el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3), de origen natural y los compuestos halocarbonados, dentro de los cuales están los hidrofluorocarbonados (HFC) y los perfluorocarbonados (PFC), de origen artificial (Benavides Ballesteros & León Aristizábal, 2007, pág. 5).

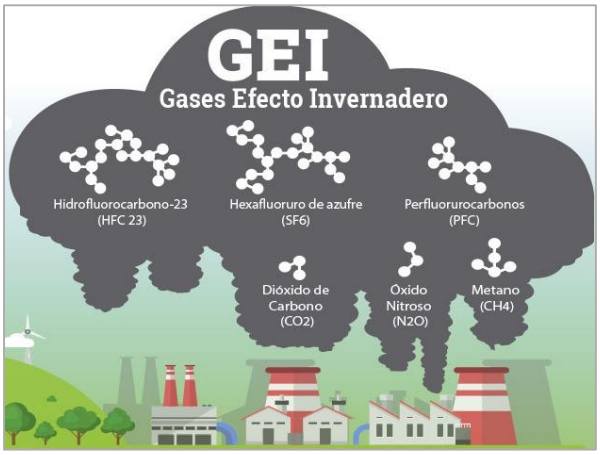


***Ilustración 2.** Gases Efecto Invernadero. Fuente: https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/Huella-de-Carbono.aspx*

El incremento de los GEI generó una gran preocupación para la humanidad, de la cual se han derivado varias discusiones de gran importancia a nivel mundial, dentro de la cuales se podría decir que una de las más relevantes fue la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (tercera conferencia de las partes)" o CoP-3 que tuvo lugar en la ciudad de Kyoto, Japón en 1997 y dio lugar al conocido "Protocolo de Kyoto", en donde se reglamenta el uso de algunos de estos gases y además, los países más industrializados de la época se comprometen a reducir sus emisiones de GEI. El cuadro a continuación contiene un breve resumen de la historia relacionada al tópico de cambio climático (CC) y GEI:

***Tabla 1**. Línea del tiempo del Cambio Climático y GEI. Fuente propia, información tomada de: Tapia Jopia, Olivares Felice, & Núñez Parraguez (2014)*

AÑO	EVENTO	DESCRIPCIÓN
1957	Estudios realizados por Charles Keeling	Se logró comprobar que el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera era real desde la revolución industrial en adelante.
1972	Conferencia sobre Medio Ambiente Humano de **Estocolmo**	Permitió enmarcar la crisis ambiental global, como un problema real y de orden mundial, donde cada una de sus variables (contaminación, agotamiento de los recursos naturales, pérdida de la biodiversidad, Cambio Climático, agujero en la capa de ozono y explosión demográfica), no sólo se estudiarían en su especificidad y en sus interrelaciones, sino que además se deberían lograr acuerdos internacionales relativos a la superación de esta problemática.
1979	Primera Conferencia Mundial sobre Cambio Climático convocada por la ONU	El tema calentamiento global es tratado por primera vez.
1983	Se crea la Comisión Mundial de Medio Ambiente y del Desarrollo	Informe denominado ***Nuestro Futuro Común,*** publicado en 1987, el cual da cuenta sobre la gravedad del CC y la necesidad urgente de que la comunidad internacional aborde el tema. Además, con este informe se hace conocido mundialmente el concepto *desarrollo sostenible.*
1985	Convenio de Viena sobre la protección de la capa de ozono	La confirmación científica del agotamiento de la capa de ozono impulsó a la comunidad internacional a establecer un mecanismo de cooperación para tomar medidas para proteger la capa de ozono. Esto condujo a la redacción del ***Protocolo de Montreal*** relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.
1988	Se crea el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)	Comisión creada por la Organización Meteorológica Mundial y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, cuyo objetivo es evaluar periódicamente el fenómeno del CC y sus consecuencias.
1989	Cumbre de los G7	Cumbre de las 7 naciones más industrializadas del mundo en la cual debaten sobre el impacto del CC. (Naciones: Francia, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Japón, Italia y Canadá).
1992	Primera cumbre de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro	Se crea la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
1992	Convención marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CNUMAD) en Nueva York.	Se presenta un acuerdo internacional que busca reducir las emisiones de GEI de los principales países industrializados con el fin de que en el periodo que va de 2008 a 2012 esas emisiones desciendan un 1,8% por debajo de las registradas en 1990.
1995	Primera reunión o conferencia de las partes (CoPs)	Donde se establece el grupo ad hoc del Mandato de Berlín, dando inicio a negociaciones que permitieran llegar a acuerdos para combatir el CC.
1997	Asamblea general extraordinaria de la ONU	Para analizar los acuerdos tomados en la cumbre de Río de Janeiro y establecer acuerdos jurídicamente vinculantes que

	en Nueva York (Cumbre de la Tierra +5)	reduzcan las emisiones de GEI, los cuales son los causantes del CC.
1997	Nueva cumbre del convenio Marco (CoP-3) en Kioto	Con el objetivo de lograr un acuerdo específico para disminuir los GEI, a través de la fijación de cuotas máximas de emisiones por país, del cual surge el conocido ***Protocolo de Kioto***, donde los treinta países más industrializados del mundo, fueron sus signatarios iniciales comprometiéndose a reducir un promedio de 5,2% de las emisiones de GEI entre los años 2008 y 2012 tomando como referencia los niveles emitidos el año 1990. Reforzó además el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático respecto a la importancia de los GEI, en donde en su artículo número 2 presenta el objetivo de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Además, en su artículo 4, se establece el compromiso de las partes para elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes (CoP), inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros, de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías compatibles acordadas por la CoP.
2000	Declaración del Milenio de las Naciones Unidas - Nueva York.	Por medio de esta declaración los países participantes asumieron el compromiso para reducir la pobreza extrema, en donde se establecieron una serie de 8 objetivos con plazo límite al 2015 denominados **Objetivos De Desarrollo Del Milenio**. El séptimo objetivo estaba encaminado a garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.
2012	CNUMAD Rio+20 – Río de Janeiro.	Se generó el informe denominado '**El Futuro que Queremos**', el cual fue el principal antecedente para la formulación de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** aprobados por medio de la agenda 2030 en el año 2015. El treceavo objetivo, 'Acción por el clima', encaminado a la incorporación de medidas de cambio climático e n políticas, estrategias y planes nacional.

De esta manera, se dio paso a la búsqueda de la cuantificación, control y reducción de los GEI y con esto a la creación del concepto 'Huella de Carbono' (HC), el cual, de acuerdo con Tapia Jopia, Olivares Felice, & Núñez Parraguez (2014) fue mencionado por primera vez por Hogevold en el año 2003 basándose en el concepto de Huella Ecológica, definida como una manera de medir la sostenibilidad en una sociedad de consumo, reflejando todos los impactos ambientales antropogénicos en hectáreas de terreno productivo necesario para generar los recursos consumidos por la sociedad (Wackernagel & Rees, 1996).

Actualmente, se encuentran definiciones como la expuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020), que menciona que la Huella de Carbono es un indicador que busca cuantificar la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), tanto directas como indirectas, medidas en emisiones de CO_2 equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a la actividad antrópica.

Así mismo, Schneider & Samaniego (2010) mencionan que la huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por las actividades humanas (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Esta hace referencia a la cantidad de toneladas o kilogramos de CO_2 equivalente de GEI, producida en el día a día a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, transporte, entre otros procesos.

Esta medida puede ser determinada para una organización o para un individuo, entendiéndose organización como una entidad o unidad social en la cual las personas se integran entre sí para alcanzar objetivos específicos (Pérez López, 1996). Las organizaciones se pueden clasificar de acuerdo a sus fines (organizaciones con fines de lucro o sin fines de lucro), según su formalidad (formales, con estructuras y sistemas oficiales y definidos, incluyendo directrices, normas y reglamentos de organización; lineales, con una estructura directa y única de autoridad y responsabilidad entre superior y subordinados; funcionales, en las cuales se realiza la diferenciación de actividades y funciones; e informales) y según su grado de centralización (Centralizadas y descentralizadas en términos de la autoridad y toma de decisiones) (Thompson, 2011).

Para determinar la HC de una organización, empresa o institución, se abarcan todas las operaciones directas e indirectas relacionadas con sus procesos productivos, y es necesario definir el límite operacional de la misma; de acuerdo al protocolo de gases efecto invernadero, para definir los límites operacionales es necesario identificar las fuentes de emisiones a ser incluidas en la medida. El protocolo Greenhouse Gas Protocol (2015) establece los siguientes tres ámbitos de emisiones:

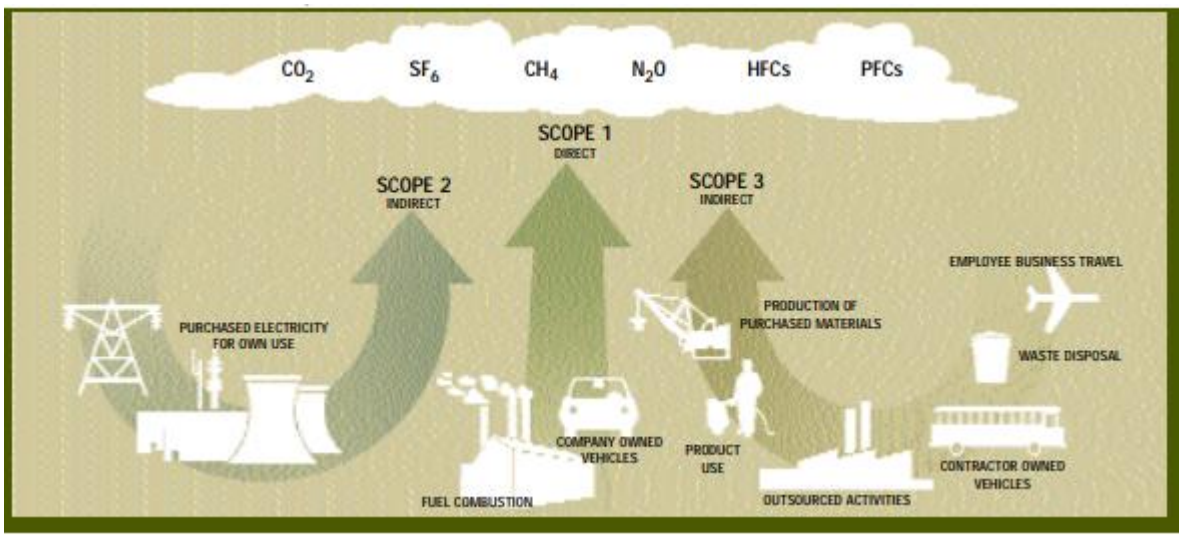


***Ilustración 3**. Ámbitos de emisiones. Fuente: Greenhouse Gas Protocol (2015, pág. 26)*

- Ámbito 1: emisiones directas, desde fuentes propias o controladas por la organización, como las derivadas de quema de combustibles o procesos químicos.
- Ámbito 2: emisiones indirectas derivadas de la generación de energía por parte de terceros.
- Ámbito 3: otras emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización que ocurren fuera de la misma, como lo son viajes que incluyen trasporte en vehículos y aviones, gestión y disposición de residuos, producción de insumos, entre otras.

En lo que respecta a la huella de carbono individual, esta se calcula por la suma de dos partes, la huella primaria y la secundaria, la primera hace referencia a la medida de las emisiones directas de CO_2 por quema de combustibles fósiles sobre las cuales el individuo tiene control directo (como el consumo doméstico de energía y transporte) y la segunda, es la medida de las emisiones indirectas de CO_2 de

todo el ciclo de vida de los productos que consume el individuo, es decir las emisiones de CO_2 de los procesos productivos de los bienes y servicios consumidos (Schneider & Samaniego, 2010).

A la par con el desarrollo del concepto, se han generado varias metodologías para la medición de esta variable, siendo las más conocidas la ISO 14064:2006 Y el Protocolo de Gases Efecto Invernadero:

ISO 14064:

Esta norma fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 207 de Gestión Ambiental de la Organización Internacional de Normalización y está constituida por tres partes que en conjunto permiten cuantificar, seguir, informar y verificar las emisiones y remociones de GEI de una organización. La primera detalla los principios y requisitos para el diseño, desarrollo y gestión de los inventarios de GEI de una organización, mediante la implementación de requisitos que permitan determinar los límites de las emisiones de GEI para así cuantificarlas junto con las remociones con el fin de identificar las actividades y acciones que la organización puede realizar para mejorar la gestión de los GEI. La segunda presenta la orientación, a nivel de proyectos, para la cuantificación, seguimiento y el informe de la reducción de emisiones de GEI o el aumento en las remociones de los mismos; por último, la tercera parte se enfoca en la orientación para realizar la validación y verificación de declaraciones sobre GEI (ISO, 2006).

De esta manera, la metodología para la cuantificación de la huella de carbono se encuentra en la primera parte de la norma y establece los siguientes pasos:

Definir los límites de la organización:

La organización debe consolidar sus emisiones y remociones de GEI a nivel de la o las instalaciones, por medio de uno de los siguientes enfoques:

- *Control:* se consideran las emisiones y remociones de GEI de la organización en sus instalaciones, sobre las cuales tienen total control operacional o financiero.

- *Cuota de participación*: la organización responde por las emisiones y remociones de GEI que tienen parte en sus instalaciones.

Definir los límites operativos:

El establecimiento de estos límites está basado en la identificación de las emisiones y remociones que se derivan de las operaciones desarrolladas por la organización, así mismo estas deben ser clasificadas en tres alcances o categorías: emisiones directas, emisiones indirectas por energía y otras emisiones indirectas. Las emisiones y remociones directas de GEI son aquellas que provienen de la instalación y que están relacionadas con combustión fija, combustión móvil, procesos directos, emisiones fugitivas directas y emisiones y remociones directas por el uso de la tierra o cambio en el uso del suelo.

Las emisiones indirectas de GEI son generadas por el consumo de energía, ya sea por el consumo de electricidad de origen externo o emisiones indirectas por energía consumida de origen externo a través de una red física (vapor, calefacción, refrigeración y aire comprimido), por último se encuentra otras emisiones y remociones indirectas de GEI que son las que no se contemplan en la anterior categoría, como por ejemplo residuos sólidos

generados por las actividades de la organización, productos comprados, desplazamiento de los empleados al trabajo, entre otras.

Se pueden priorizar algunas categorías con base a su importancia o desarrollar nuevas categorías dependiendo del enfoque del inventario, explicando la razón por la cual se realizan. La norma presenta en su versión explicativa, 23 categorías para dicha clasificación que serán enunciadas a continuación, las cuales estarían enmarcadas en los tres alcances o grandes categorías, que coinciden con los tres ámbitos presentados en el protocolo de gases efecto invernadero (ICONTEC, 2017, pág. 14 y 15)

Tabla 2. *Clasificación de las emisiones o remociones de GEI. Fuente: ICONTEC (2017)*

ALCANCE	EMISIÓN O REMOCIÓN
Alcance 1: Emisiones y remociones directas de GEI provenientes de las instalaciones dentro de los límites de la organización	Emisiones directas provenientes de combustión fija.
	Emisiones directas provenientes de combustión móvil.
	Emisiones relacionadas con procesos directos.
	Emisiones fugitivas directas.
	Emisiones y remociones directas por uso de la tierra (opcional).
Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI por generación de energía	Emisiones indirectas por consumo de electricidad de origen externo.
	Emisiones indirectas por energía consumida de origen externo a través de una red física (vapor, calefacción, refrigeración, aire comprimido) exceptuando la electricidad.
Alcance 3: Otras emisiones y remociones indirectas de GEI	Actividades relacionadas con energía, no incluidas en el alcance 1 y 2.
	Productos comprados.
	Equipos de capital.
	Residuos generados por las actividades de la organización.
	Transporte y distribución (antes de que llegue a la organización).
	Viajes de negocios.
	Activos arrendados del proceso antes de que entre a la organización.
	Inversiones.
	Transporte de clientes y visitantes.
	Transporte y distribución (posterior al uso/consumo en la organización).
	Etapas de uso del producto o servicio.
	Fin de vida del producto o servicio.
	Franquicias.
	Activos arrendados del proceso posterior al uso o consumo en la organización.
	Desplazamiento de los empleados al trabajo.
	Otras emisiones o remociones no incluidas anteriormente.

Cuantificación de las emisiones y remociones de GEI:

Para realizar la cuantificación de emisiones y remociones, primero se debe seleccionar la metodología que será aplicada para dicho fin; la norma presenta las siguientes tres:

- Cálculo.
- Medición.
- Combinación entre cálculo y medición.

Respecto a la metodología de medición, la Fundación Laberin (2005, pág. 15) menciona que esta se basa en la obtención de los datos de emisión con base en medidas realizadas a partir de métodos normalizados o aceptados, los cuales son transformados por medio de factores de emisión para obtener los datos anuales. Estos datos de medición se deducen a partir de los resultados de controles directos de los procesos impactantes que indican la concentración del contaminante.

Por otro lado, con respecto a la metodología de cálculo, esta consta de los siguientes pasos:

I. Identificar las fuentes y sumideros de GEI para cada categoría:
Se deben determinar las fuentes de emisiones de GEI que se encuentren dentro de los límites establecidos anteriormente, evaluando si estas son directas, indirectas por consumo de energía o de otro tipo, es decir, se deben clasificar dentro de los 3 alcances indicados en la norma. Así mismo se debe identificar los sumideros de GEI dentro de los límites de la organización; para esto es importante tener en cuenta el estado en el que se encuentran los individuos arbóreos o la cobertura vegetal.

II. Para las fuentes y sumideros identificados anteriormente, recolectar los datos de la actividad a la cual corresponden:
Una vez identificadas las fuentes de emisiones, se deben recolectar los datos pertinentes relacionados a cada tipo de fuente, teniendo en cuenta la temporalidad para la cual se desea determinar la huella de carbono, por ejemplo, para el alcance 2, el cual está relacionado con el uso de energía, se tienen en cuenta los valores referentes al consumo de energía para el periodo de tiempo de interés. Respecto a los sumideros, es importante determinar la metodología a seguir para evaluar la cantidad de CO_2 fijado, de esta dependerán los datos a recolectar, los cuales estarán relacionados con el número y especie de individuos sujetos de estudio.

III. Realizar la multiplicación de los datos obtenidos con los factores de emisión o remoción correspondientes:
De acuerdo con los datos recolectados anteriormente, se debe determinar el dato global para la fuente de emisión y multiplicarlo por el factor de emisión pertinente. Estos factores deben buscarse en entes oficiales, pueden tomarse de fuentes internacionales como la IPCC o de las instituciones nacionales pertinentes, como la UPME, para el caso de Colombia.

Remoción de GEI:

La norma ISO 14064-1:2006 reconoce las remociones como la masa total de un GEI que es removido de la atmósfera en un determinado periodo de tiempo, y un sumidero de GEI como la unidad o proceso físico que los remueve. Según IHOBE (2012) las remociones solo tendrán relevancia en caso de que la organización tenga un componente agroforestal o posea una extensión significativa de tierras, por ejemplo el caso de empresas de este sector, organizaciones de para la protección del territorio, municipios, etc.

Las remociones suponen la extracción de CO_2 atmosférico mediante sumideros, debido a que el carbono se acumula en la biomasa del ecosistema forestal a través de la fotosíntesis, representando aproximadamente el 50% de la misma (en relación al peso seco). Comúnmente, la capacidad de fijación depende principalmente de la especie arbórea dominante y del clima, sin embargo, el CO_2 fijado en los ecosistemas forestales puede variar también por el tipo de bosque o el tipo de suelo (IHOBE, 2012).

El carbono en los bosques se almacena en diferentes compartimientos: en la biomasa viva, en la materia orgánica muerta o en los suelos. El primer compartimiento incluye tanto la biomasa aérea como la subterránea, la aérea se refiere a toda la biomasa que se encuentra sobre el suelo, como tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje, mientras que la subterránea se refiere a biomasa de las raíces, excluyendo aquellas que tengan menos de 2 mm de diámetro (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011).

Dentro del compartimiento de la materia orgánica muerta se encuentra los detritos, que comprenden la madera no viva sobre el suelo, ya sea de pie o caída, y la hojarasca, que se refiere a la masa no viva sobre el suelo, como hojas, ramas y cáscaras de frutos. Por último el compartimiento suelo, se refiere a la materia orgánica de este, que comprende el carbono de los suelos minerales y orgánicos, y las raíces vivas con diámetro menor a 2 mm (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011). De los tres anteriores depósitos el más relevante es el almacenamiento de carbono durante el crecimiento de la masa arbórea, dentro de la biomasa vegetal aérea (IHOBE, 2012).

Con respecto a las metodologías establecidas para la cuantificación de la remoción de GEI a través de la determinación del carbono fijado mediante su biomasa, el Protocolo para la Estimación Nacional e Internacional de Biomasa-Carbono en Colombia, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2011, declara que la técnica más directa para cuantificar el carbono almacenado en coberturas boscosas, es cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, calcular su peso seco y posteriormente, obtener el contenido de carbono mediante un factor de conversión. Sin embargo, también afirman que este método es destructivo y requiere grandes inversiones de tiempo, recursos y mano de obra, por lo que no se recomienda (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011).

Así mismo, Fernández Losada (2017) establece que para la cuantificación del carbono existen dos métodos, el directo o destructivo, descrito anteriormente y el método indirecto, el cual consiste en utilizar las ecuaciones alométricas que actualmente existen, y que solo requiere la medición de las variables más relevantes, como diámetro y altura, en campo. El protocolo anteriormente mencionado describe un método indirecto para la estimación de biomasa aérea utilizando las ecuaciones alométricas que fueron

desarrolladas por Álvarez y otros (2012) en el contexto Colombiano, que permite estimar el contenido de carbono en los bosques naturales o plantaciones forestales.

Adicionalmente, otro mecanismo recurrente para la determinación de la remoción, es mediante el uso de un factor de remoción, con este valor para cada especie vegetal presente, y la cantidad de individuos, es posible estimar la remoción que se está presentando.

Estimación de la incertidumbre:

La norma internacional ISO 14064-1 especifica la necesidad de evaluar cuál es la incertidumbre para las emisiones y remociones de GEI, incluyendo la asociada a los factores de emisión y remoción. En lo posible, esta evaluación debe realizarse cuantitativamente, pero como alternativa se puede adoptar una evaluación cualitativa.

Para este ejercicio, la incertidumbre refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor de un resultado (ISO, 2008). Esta determina el nivel de fiabilidad de los datos, y permite identificar posibles áreas de mejora en la precisión para la presentación de nuevos informes (ASEGRE, 2010). En este caso, la incertidumbre será típica y estará expresada en forma de desviación estándar.

La norma ISO 14064-1 recomienda para la determinación de la incertidumbre de un inventario de gases de efecto invernadero, el uso de la tercera parte "Guide to the expression of uncertainty in measurement" de la guía ISO/IEC GUIDE 98-3 "Uncertainty of measurement", la cual afirma que la incertidumbre típica, basada en la desviación estándar, se obtiene a partir de una función de densidad de probabilidad que se determina a partir de una distribución de frecuencia observada.

El modelo que sugiere la anterior guía para determinar la incertidumbre de una medición se basa en una relación funcional *f* de N magnitudes $X_1, X_2, \dots X_n$.

$$\boldsymbol{Y} = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

***Ecuación 1**. Relación funcional de las magnitudes.*

Donde **Y**, la magnitud de salida, es el resultado de la relación funcional $\boldsymbol{f}$ entre las magnitudes de entrada $\boldsymbol{X_1, X_2, \dots X_n}$.

En principio, se considera que en la mayoría de los casos, la mejor estimación disponible de una magnitud $\boldsymbol{q}$, que varía aleatoriamente y de la que se han observado mediciones o datos independientes $\boldsymbol{q_i}$, es la media aritmética $\overline{\boldsymbol{q}}$*:*

$$\overline{\boldsymbol{q}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_i$$

***Ecuación 2.** Media aritmética*

Donde **n** es el número de observaciones realizadas.

De acuerdo a lo anterior, esta fórmula se utiliza para hallar dicho valor para los conjuntos de datos de las actividades que se usan para determinar la HC. A continuación, es necesario a partir de esta variable encontrada obtener el valor de la desviación estándar

$\boldsymbol{\sigma}$**.** Para obtener dicha variable, que refleja la raíz cuadrada de la varianza y cuyo valor evidencia la variación experimental de las observaciones, se utiliza la siguiente ecuación dada por la ISO en la guía ISO/IEC GUIDE 98-3:

$$\boldsymbol{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(q_i - \bar{q})^2}$$

Ecuación 3*. Desviación estándar*

Posteriormente, para determinar la incertidumbre, el IPCC (2019) en su documento "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" volumen 1, General Guidance and Reporting capítulo 3, evidencia la siguiente forma de medir la incertidumbre, con respecto a lo definido anteriormente en la guía ISO/IEC GUIDE 98-3 acerca de la desviación estándar. La cual se utiliza para determinar este valor del conjunto de datos:

$$\boldsymbol{Incertidumbre} = \pm\left(\frac{Z\propto_{/2} * \sigma}{\bar{q}}\right) * 100\%$$

Ecuación 4. *Incertidumbre*

Donde $Z_{\propto/2}$ esta dado por el intervalo de confianza escogido para la investigación.

Por último, debido a que la norma ISO 14064-1 revela la necesidad de documentar y demostrar una incertidumbre agregada, se utiliza el siguiente modelo matemático que recomiendan para la determinación de este parámetro:

$$\boldsymbol{Incertidumbre\ Agregada} = \sqrt{EF_u^2 + AD_u^2}$$

Ecuación 5. *Incertidumbre agregada*

Donde:

EF_u es la incertidumbre del factor de emisión
AD_u es la incertidumbre de los datos de la actividad

Recapitulando, para el cálculo, se halla para cada conjunto de datos las variables estadísticas de la media aritmética y del número de observaciones con el fin de conseguir la desviación estándar y de esta según lo especificado en la anterior guía, de acuerdo al intervalo de confianza que desea conseguir en la investigación, encontrar la incertidumbre. Finalmente, es necesario documentar y demostrar la incertidumbre agregada, la cual según la norma ISO 14064-1 tiene en cuenta la incertidumbre hallada tanto para los factores de emisión, como para los datos de la actividad.

Por otro lado, existen autores como la empresa española Auchan Retail (2019, pág. 60) que determinan la evaluación semicuantitativa de la calidad de los datos de acuerdo a la Guía de la Huella Ambiental de Productos y Organizaciones de la Unión Europea; dicha metodología se basa en el análisis de los siguientes 6 criterios:

- Integralidad de los datos (C), en donde debe juzgarse la cobertura de los datos con respecto a las fuentes de cada alcance.
- Idoneidad y coherencia metodológica (M), en donde se evalúa que los métodos aplicados y las opciones metodológicas estén en consonancia con el objetivo y el

alcance de la serie de datos; además de que la metodología sea aplicada de manera correcta.

- Representatividad temporal (TiR), en donde se analiza el grado en el que la serie de datos refleja las condiciones específicas del sistema que se está considerando con respecto al tiempo (es decir, que corresponda al mismo año).
- Representatividad tecnológica (TeR), en donde se indica el grado en el que los datos representan la fuente que se está analizando.
- Representatividad geográfica (GR), en donde se juzga el grado en el que la serie de datos refleja la población o sistema de interés en términos geográficos.
- Precisión o Incertidumbre de los parámetros (P), en donde se evalúa cualitativamente la veracidad de los datos y factores de emisión usados, con base a sus fuentes. Para este criterio, la empresa Elecnor (2018, pág. 19) plantea su evaluación cualitativa teniendo en cuenta los datos de la actividad (DA) y los factores de emisión (FE) utilizados, en donde para los primeros (DA) se analiza si estos fueron determinados de manera directa o fueron estimados a partir de otros datos existentes y la coherencia de la estimación realizada; y para los segundos (FE) se evalúa si estos fueron tomados de fuentes oficiales.

Estos parámetros se puntúan de la siguiente manera:

Tabla 3. *Puntuación de los criterios de calidad de los datos. Información tomada de: Unión Europea (2013)*

Puntuación de calidad	Nivel de calidad	Observación
1	Muy buena	Cumple el criterio en un grado muy elevado.
2	Buena	Cumple el criterio en un grado elevado, con poca necesidad significativa de mejora.
3	Razonable	Cumple el criterio en un grado aceptable, pero se aconsejan mejoras.
4	Insuficiente	No cumple el criterio en un grado suficiente y requiere una mejora.
5	Muy insuficiente	No cumple el criterio, es necesaria una mejora sustancial o este criterio no se evaluó, por lo que si calidad no pudo verificarse.

De acuerdo a esta puntuación, la calidad de los datos (DQR o Data Quality Rate) se calcula usando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{DQR} = \frac{TeR + GR + TiR + C + P + M}{6}$$

Ecuación 6. *Calidad global de los datos*

El resultado obtenido se clasifica e interpreta de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4. Calidad global de los datos. Fuente: Unión Europea (2013)

Puntuación de calidad de los datos (DQR)	Nivel de calidad global de los datos
≤ 1,6	Calidad excelente
1,6 a 2,0	Calidad muy buena
2,0 a 3,0	Calidad buena
3,0 a 4,0	Calidad razonable
> 4	Calidad insuficiente

Protocolo de Gases Efecto Invernadero:

Este es una iniciativa de múltiples partes interesadas como empresas, organizaciones no gubernamentales (ONG), gobiernos, entre otros, convocados por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD); fue creado en el año 1998 y su objetivo es desarrollar una metodología para contabilizar y reportar los GEI, aceptada a nivel internacional para poder promover su amplia adopción. Comprende dos partes, la primera es el protocolo de GEI que se enfoca en la cuantificación y reporte de emisiones de GEI de empresas u organizaciones; la segunda parte presenta una guía para cuantificar, a nivel de proyectos de mitigación, las remociones de GEI (Greenhouse Gas Protocol, 2015, pág. 4).

De acuerdo al protocolo, para calcular la huella de carbono se debe comenzar por identificar las fuentes de emisiones de GEI, las cuales generalmente se producen a partir de combustión estacionaria (como en hornos, calderas, quemadores, entre otros), combustión móvil que proviene básicamente de los medios de trasporte y emisiones provenientes de procesos físicos o químicos (como la calcinación y emisiones fugitivas); sin embrago, el protocolo establece tres ámbitos o categorías para clasificar las emisiones generadas en la organización: el ámbito 1 es referente a emisiones directas como las generadas por la combustión, el ámbito 2 engloba las emisiones indirectas provenientes de la generación de energía por terceros, que es consumida en la organización, y el ámbito 3 contiene las emisiones indirectas que son producto de las actividades de la empresa que ocurren fuera de la misma (Greenhouse Gas Protocol, 2015, pág. 43).

Posteriormente, se debe seleccionar el método de cálculo, puede ser mediante medición directa por monitoreo, por medio de un balance de masa o base estequiométrica especifica del proceso; sin embargo, la forma más común para hacerlo es mediante la recolección de datos referentes a las actividades generadoras de emisiones de GEI para su posterior multiplicación con los factores de emisión correspondientes. Una vez se cuenta con el método de cálculo, se procede a realizar la recolección de datos, y si se seleccionó el método más común, se deben escoger minuciosamente los factores de emisión para posteriormente aplicar las herramientas de cálculo y obtener los datos de emisiones de GEI a nivel corporativo. (Greenhouse Gas Protocol, 2015, pág. 44).

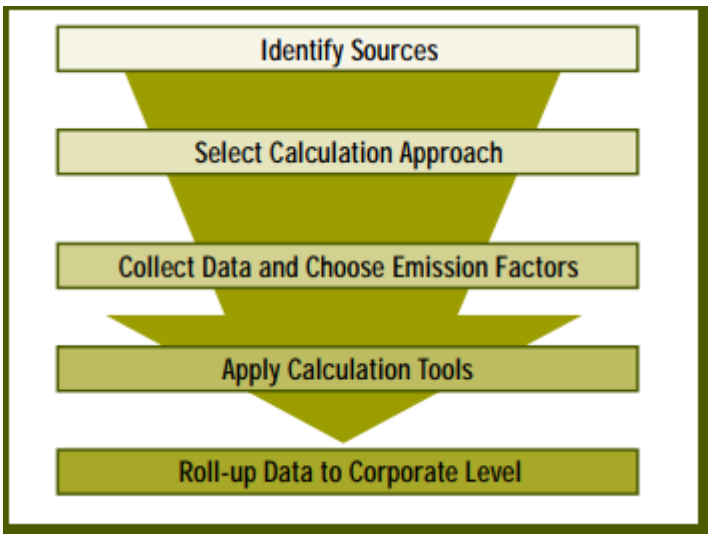


Ilustración 4. *Pasos para determinar las emisiones de GEI a nivel corporativo. Fuente: Greenhouse Gas Protocol (2015)*

Estás metodologías han sido aplicadas en varios trabajos enfocados en la determinación de la huella de carbono de diferentes organizaciones, este es el caso del estudio realizado por Ortiz Rincón & Hostos Ojeda (2016) en el que se evalúa la huella de carbono de la facultad de artes ASAB de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, mediante la aplicación de la norma ISO 14064-1. Dichos autores identifican 4 fuentes de emisiones, de las cuales 2 pertenecen al alcance 1, 1 al alcance 2 y 1 al alcance 3, las cuales se pueden evidenciar, junto con su factor de emisión y datos específicos en la siguiente tabla:

Tabla 5. *Huella de carbono de la ASAB. Fuente: Ortiz Rincón & Hostos Ojeda (2016)*

Fuente de emisión	**Descripción**	**Consumo**		**Factor de emisión PCG**		**Huella de carbono (Ton CO_2)**
		Cant	Unid	Cant	Unid	
Alcance 1						
Consumo de Combustible	Practicas académicas	0.024	m^3	0.303	$KgCo_2/m^3$	0.00007
	Transporte de docentes	0.099	m^3	0.303	$KgCo_2/m^3$	0.00002
	Subtotal Huella de carbono para el consumo de combustible					0.00009
Generación de residuos sólidos	Generación de residuos sólidos Fac. ASAB	160,215	m^3	0.8	$KgCo_2/m^3$	0.12
	Subtotal huella de carbono para la generación de residuos sólidos					0,12028
Subtotal huella de carbono Alcance 1						
Alcance 2						
Consumo de Energía	Consumo de energía eléctrica	117.900	Kilowatts/Hora	0.166	$KgCo_2/kW/h$	19,5714
Subtotal Huella de carbono Alcance 2						19,5714
Alcance 3						
Consumo de Papel	Consumo de papel	1656,519	Kg	3	$KgCo_2/kg$	4,9695
Total de emisiones de GEI Facultad ASAB						24,669173

A su vez, Fajardo Rodríguez & Guzmán Muñoz (2017) usan una metodología muy similar para determinar la huella de carbono de la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, identificando las mismas fuentes de emisiones que los autores anteriormente mencionados y obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6. *Huella de carbono de la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (UDFJC). Datos tomados de: Fajardo Rodríguez & Guzmán Muñoz (2017)*

PARAMETRO		VALOR	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE	Ton CO2
Energía eléctrica		33.603,925 KWh	0,153 Kg CO2 KWh	(Fundación Natura Colombia, Coorporación Ambiental Empresarial, Cámara de Comercio de Bogotá, 2014)	5,141
Transporte (consumo de combustible)	Prácticas académicas	1.653,654 GJ/año	74,01 Kg CO2/GJ	(Academia de ciencias exactas, naturales y físicas (ACCEFYN), 2003)	122,386
	Capacitación docente	188,745 GJ/año	71,45 Kg CO2/GJ		13,486
Residuos solidos		35.271 Kg RS	12,83 Kg CO2/ Kg RS	(Fundación Natura Colombia, Coorporación Ambiental Empresarial, Cámara de Comercio de Bogotá, 2014)	452,526
Papel		581,359 Kg	3 Kg CO2/ Kg	(Estrategía Aragonesa de Cambio Climático y energías limpias, 2012)	1,744
TOTAL DE EMISIONES DE CO2 (Ton CO2)					**595,285**

En ambos casos, los autores hacen uso de la metodología planteada en la norma internacional ISO 14064:1 y se apoyan en factores de emisión establecidos por el PIGA de la Universidad (Plan institucional de gestión ambiental), la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) y el IPCC (Panel intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático). En cuanto a las actividades y procesos que generan emisiones de GEI en las facultades en estudio se determinaron los siguientes:

- El consumo de energía, para lo cual se analizaron los datos de energía facturados para cada facultad en el año de estudio correspondiente, determinando el consumo anual de energía.
- El transporte también fue considerado como una fuente de emisión, por el consumo de combustible asociado a esta actividad, teniendo en cuenta las prácticas académicas realizadas por cada facultad y el transporte para la capacitación de docentes de la misma.
- El consumo de papelería también se tuvo en cuenta, teniendo en cuenta la cantidad de resmas usadas en cada facultad.
- Por último, se consideró también la generación de residuos sólidos como fuente de emisión, teniendo en cuenta la cantidad de residuos sólidos generada en cada facultad.

Estos valores fueron multiplicados por los factores de emisión correspondientes, con lo cual se obtuvieron las toneladas de dióxido de carbono asociadas a cada fuente de emisión, las cuales sumadas indican la huella de carbono de la organización a la que pertenecen; de esta manera se obtuvieron las huellas de carbono de los campus en cuestión, para lo cual Ortiz Rincón & Hostos Ojeda obtuvieron valor de 24,66 Ton CO_2 para la facultad de artes ASAB en el periodo 2014-2015 y Fajardo

Rodríguez & Guzmán Muñoz un valor de 595,28 Ton CO_2 para la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el periodo 2015-2016.

Además de los casos presentados para la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se encuentran, entre otros, el caso de la Universidad de la Salle – Sede Candelaria presentado por Reyes Salazar & Panche Caño (2019), el caso de Universidad Politécnica de Cartagena realizado por Hermosilla Alcaraz, (2014) y el del Instituto Tecnológico Superior, ejecutado por Erazo Guzmán & Gallegos, (2018). Dichos trabajos fueron realizados en las ciudades de Bogotá - Colombia, Cartagena – España y Quito - Ecuador respectivamente.

Reyes Salazar & Panche Caño hacen uso del protocolo de Gases Efecto Invernadero y de la ISO 14064-1, comparando los resultados obtenidos para cada metodología, en los cuales se destaca que la norma ISO contempla el cálculo no sólo de las emisiones, sino también las remociones que se presentan en la organización. En este trabajo se obtuvo que la sede Candelaria de Universidad de la Salle tenía una huella de carbono de 3'976.068 Kg CO_2 para el año 2018, con las siguientes fuentes emisión y remoción:

Tabla 7. *Huella de Carbono de la Universidad de la Salle – Sede Candelaria. Fuente: Reyes Salazar & Panche Caño (2019)*

Metodologías aplicadas			
Green House Gas Protocol		ISO 14064 - 1	
Alcance 1		Emisiones y remociones directas	
Producción de residuos sólidos	1'651.546,53 kg CO_2 / año	Producción de residuos sólidos	1'651.546,53 kg CO_2 / año
Consumo de gas	2.493,78 kg CO_2 / año	Consumo de gas	2.493,78 kg CO_2 / año
Transporte propio	0 kg CO_2 / año		
Total	***1'654.040,31 kg CO_2 / año***	***Total***	***1'654.040,31 kg CO_2 / año***
Alcance 2		Emisiones indirectas por energía	
Consumo de energía	162.267,84 kg CO_2 / año	Consumo de energía	162.267,84 kg CO_2 / año
Alcance 3		Otras emisiones indirectas	
Transporte fuera de los límites	2'159.760,10 kg CO_2 / año	Transporte fuera de los límites	2'159.760,10 kg CO_2 / año
		Transporte propio	0 kg CO_2 / año
Total	2'159.760,10 kg CO_2 / año	***Total***	2'159.760,10 kg CO_2 / año
Huella de carbono			
3'976.068,25 kg CO_2 / año		3'976.068,25 kg CO_2 / año	
		Sumideros	
		Captura de CO2	29.665,29 kg CO_2e

Por su parte, Hermosilla Alcaraz (2014) menciona que estas metodologías son muy similares, y hace uso de las mismas para determinar la huella de carbono (HC) de la Universidad Politécnica de Cartagena, obteniendo actividades asociadas a fuentes de emisión en los tres alcances establecidos por la ISO 14064-1 (que corresponden a los tres ámbitos del PHC): en el primero se identificaron el consumo de gas natural, el desplazamiento de los vehículos de la universidad y las emisiones de HFC (emisiones fugitivas de gas R-407C de los equipos de refrigeración y aire acondicionado), en el segundo el consumo de electricidad, y por último, en el tercero la movilidad de empleados y alumnos para llegar al campus, el consumo de papel, el consumo de agua y la generación de residuos peligrosos. De

las anteriores fuentes, el autor obtuvo una HC de 9.088,396 Ton CO_2 equivalente para la universidad Politécnica de Cartagena correspondiente al año 2013, distribuida de la siguiente manera:

Tabla 8. *Huella de carbono de la Universidad Politécnica de Cartagena. Fuente: Hermosilla Alcaraz (2014)*

	ton CO_2 eq.	%
Alcance 1	328,142	3,61
Alcance 2	1540,297	16,94
Alcance 3	7219,955	79,44
TOTAL	**9088,395**	100

Adicionalmente, Erazo Guzmán & Gallegos determinaron la HC del Instituto Tecnológico Superior de Quito, para el año 2017 con base a lo establecido en la ISO 14064-1, identificando dos fuentes de emisión en las instalaciones del centro educativo, la primera asociada al consumo de energía eléctrica y la segunda relacionada con el consumo de papel y plástico por parte de la comunidad académica, obteniendo una HC de 15.935,2 Ton CO_2, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 9. *Huella de carbono del Instituto Tecnológico Superior. Fuente: Erazo Guzmán & Gallegos (2018)*

Alcance	Fuente	Cantidad anual (t CO_2)	Porcentaje (%)
Alcance 2	Huella de carbono de energía eléctrica calculado para el ITS-Sucre.	15.190,7	95,3
Alcance 3	Huella de carbono de plástico + papel calculado para el ITS-Sucre.	744,5	4,7
	TOTAL	**15.935,2**	**100**

Por otro lado, se han desarrollado varias herramientas para determinar la huella de carbono de una organización, basadas generalmente en las metodologías más reconocidas (ISO 16064-1 y PHC), entre ellas encontramos la calculadora desarrollada por la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, esta fue creada para las entidades registradas en la ciudad de Bogotá, y permite calcular y registrar las emisiones generadas por la empresa por cada alcance identificado; para acceder a esta se debe ingresar a la página web de la Secretaría Distrital de Ambiente (www.ambientebogota.gov.co) y dirigirse al enlace de "*Ambiente por temas*", seleccionar la opción "*Planeación Ambiental*", hacer clic en "*Herramientas STORM*" y seleccionar "*Descargar STORM User*" (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

La corporación ambiental empresarial (CAEM), también cuenta con una herramienta para el cálculo de la huella de carbono basada en la metodología del protocolo de gases efecto invernadero y que satisface además los requisitos de la norma ISO 14064-1:2006. Esta determina el inventario de GEI, por tipo de fuente y alcance con base a información que se le proporciona relacionada con los consumos de combustibles, energía eléctrica y demás fuentes de emisión (CAEM, 2013).

Así mismo, la Fundación Aguae, localizada en España, Colombia, Perú y Chile, cuenta con una calculadora para determinar la huella de carbono tanto organizacional como personal, esta identifica la HC a partir de datos relacionados con el consumo de electricidad, de gas, de combustibles, la generación de residuos, entre otros (FUNDACION AQUAE, 2014).

A su vez, el Ministerio para la Transición Ecológica de España ha desarrollado una serie de herramientas para facilitar el cálculo de la huella de carbono de una organización y la estimación de las remociones de un proyecto de absorción de dióxido de carbono. Estas calculadoras están diferenciadas para organizaciones, ayuntamientos y explotaciones agrícolas y no incluyen las fuentes de emisión correspondientes al tercer alcance; se pueden encontrar en el siguiente enlace https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx (Gobierno de España, 2016).

Estrategias para la reducción de la huella de carbono

La determinación y el análisis de la huella de carbono le permiten a las organizaciones identificar oportunidades para reducir sus emisiones, a través de la implementación de estrategias que contemplen medidas de eficiencia energética, el remplazo de combustibles fósiles por tecnologías de energía renovable, la creación de un modelo de gestión mejorado de los residuos, la adquisición de insumos alternativos y, prescindiendo por completo de las prácticas que generan altas emisiones, en la medida de lo posible. Así mismo, si una organización compara la influencia de los diferentes componentes de la huella de carbono, puede identificar cuáles serían las acciones que tendrían mayor impacto en las emisiones y por lo tanto en la reducción de la huella de carbono (Baumber, Luetz, & Metternicht, 2020).

Con respecto a lo anterior, un estudio de caso realizado en la ciudad de Xiamen, China en el año 2017, demostró mediante la simulación de varios escenarios que estrategias de eficiencia energética tienen gran incidencia en la reducción de la huella de carbono. A su vez, en un escenario base, Huang, Li, Cui, Huang & Lin (2017) determinaron un consumo de energía de 450.400 toneladas de carbono equivalente para el año 2015, mientras que en un escenario *low-carbon* el consumo fue de 353.100 toneladas de carbono equivalente, que se traduce en una reducción del 21,6%. Los autores estimaron que en un escenario *low-carbon* hay un ahorro de energía de 1.590.400 toneladas de carbono equivalentes para los edificios urbanos, que corresponde a una reducción de las emisiones de carbono de 3,15 millones de toneladas para el año 2020, según sus proyecciones.

Algunas tecnologías direccionadas a las energías renovables y a la eficiencia energética que se pueden aplicar en pequeñas comunidades para la reducción de la huella de carbono pueden ser: el uso de la energía solar térmica, la cual se basa en la captura de la energía calórica del sol, que se transfiere a un medio secundario como el aire o el agua para su uso posterior en sistemas de calentamiento, calefacción o su transformación a energía eléctrica; el uso de paneles fotovoltaicos, o el uso de la energía solar en sistemas comunitarios, a una escala menor (Barthelmie, Morrie, & Schechter, 2008).

Así mismo, en un estudio realizado por Barthelmie, Morrie, & Schechter (2008) en la ciudad de Biggar, Escocia se determinó que la mayor fuente de emisiones de CO_2 son las producidas por el uso del transporte, por lo que se sugirió como estrategia para reducirlas, minimizar el gasto de combustible mediante la implementación de vehículos más eficientes y el ajuste de las prácticas de conducción, que pueden reducir el consumo de combustible entre un 5 y 17%. Para la segunda fuente que determinaron con mayor emisión de CO_2, el consumo de energía eléctrica, se propuso para su reducción, además de realizar la transición a energías renovables ya mencionada, implementar el cambio de bombillas de bajo consumo y cambios simples en el comportamiento de la comunidad.

Con respecto a las emisiones generadas por el consumo de combustible, se ha demostrado que las estrategias como los '*car clubs'* o el '*car pooling'* pueden funcionar exitosamente en la reducción de dichas emisiones si se tiene una consciencia ambiental alta (Shaheen, Sperling, & Wagner, 1998). Sánchez, Pradenas, Deschamps & Parada (2015) determinaron que es posible reducir la huella de carbono si se comparte los recursos del sistema de transporte; mediante un modelo matemático donde simularon 4 escenarios diferentes, los autores determinaron que en el escenario donde 4 empresas trabajan juntos y comparten un mismo sistema de transporte se obtienen mejores resultados tanto ecológicos como económicos, y establecieron que se puede obtener una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero de aproximadamente 60%, y un ahorro económico de casi el 55%.

Otro mecanismo propuesto en la literatura para el mismo propósito de reducir las emisiones de GEI por el consumo de combustible, es el incremento en la oferta de transporte público, sin embargo Enoch & Taylor (2006) concuerdan que esto funcionaria si el transporte satisface las necesidades de la comunidad, con el fin de que se pueda garantizar que las tasas de ocupación sean altas y en ese sentido, las emisiones de CO_2 por pasajero-kilómetros sean menores.

Por otra parte, entre las estrategias que han sido propuestas en la literatura para la reducción de la huella de carbono se encuentra también: la implementación de buenas prácticas operacionales y el mantenimiento constante de los equipos de computación, con el fin de promulgar un uso eficiente de los equipos y la generación de buenos hábitos de manejo, que permitan reducir el consumo de energía (Aponte, 2017); el uso eficiente de los recursos misceláneos, específicamente el uso de papel; la optimización en el uso de todos los equipos eléctricos de la organización y la incorporación de equipos de bajo consumo; y proyectos de mitigación y compensación como la reforestación de espacios de la organización o la intrusión de terrazas verdes o jardines verticales en los edificios donde sea posible su implementación (Melo, 2018).

Adicionalmente, Aponte (2017) menciona que al realizarse la separación en la fuente de los residuos sólidos, se considera que las emisiones procedentes de reciclaje cuentan como emisiones evitadas, lo que contribuiría en la reducción de la huella de carbono, ya que los materiales y la energía recuperada sustituyen materias primas que en su producción habrían emitido GEI, además de que se reduce la cantidad de residuos que finalmente serán dispuestos en el relleno sanitario.

A su vez, Vallejo Chaverri, Vallejo Solis, Nájera Fernández, & Garnier Zamora (2017) indican que una adecuada gestión de los residuos sólidos y líquidos contribuye a la reducción de las emisiones de GEI por dichas fuentes, mencionando como estrategias específicas la implementación de un biodigestor con recuperación y uso de metano, el uso de bioremediación para el tratamiento de los residuos líquidos y la reducción de los volúmenes de residuos generados.

Por otro lado, se considera que la reducción de la huella de carbono y la implementación de un campus sostenible se encuentran intrínsecamente relacionadas por sus estrategias, mientras en el primer factor se buscan herramientas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, íntimamente relacionadas con el calentamiento global, en la construcción de un campus sostenible se busca mediante diferentes medidas y tecnologías, conseguir la disminución de los impactos ambientales provocados por la ejecución de las actividades cotidianas de una universidad, y que permitiría, preservar los recursos para las próximas generaciones mediante un uso y consumo responsable de los recursos naturales. De esta manera, se estima que las estrategias pensadas para un campus sostenible por su carácter, pueden ser aplicadas también para alcanzar la reducción de la huella de carbono.

Los denominados campus sostenibles son la apuesta de las universidades para incorporar dentro de su organización los postulados del desarrollo sostenible (Parrado & Trujillo, 2015). Este concepto está dirigido a aquellas instituciones que direccionan, involucran y promueven la minimización de los impactos medioambientales, económicos y sociales por el uso de los recursos, mediante el ejercicio de la docencia, la investigación y la administración (Velázquez, Munguia, Platt, & Taddei, 2006).

De igual forma, para Jiménez (2017) el término de universidad o campus sostenible incluye los esfuerzos por parte de la organización o corporación para institucionalizar la sostenibilidad a través de la implementación de nuevas relaciones entre la comunidad universitaria y su ambiente, con las prácticas ecológicas que se realizan en las operaciones rutinarias de la universidad, como por ejemplo, la disminución del consumo de energía, el reúso y el reciclaje del agua, la clasificación de los residuos sólidos, entre otros. En ese sentido, la conversión de un campus a un modelo sostenible combina el contenido académico, las políticas administrativas, y la gestión de la institución (Rodríguez, 2019).

El principio de esta transformación a la sostenibilidad está en que las universidades o instituciones de educación superior, pueden generar impactos ambientales muy altos, y dependiendo de su tamaño, el número de empleados, estudiantes, vehículos, y la cantidad de bienes y servicios que son consumidos, entre otras cuestiones, pueden llegar a ser consideradas como '*pequeñas ciudades'* con impactos directos e indirectos al ambiente (Jabbour, Sarkis, Sousa, & Govindan, 2013). Así mismo, estas instituciones, por su carácter formativo, tiene compromisos con la sociedad para transformar las actividades que agotan el medio ambiente y sostienen las desigualdades, así como promover la sostenibilidad en todas sus dimensiones (Castro & Jabbour, 2013).

Este compromiso de las universidades con el desarrollo sostenible inicia en el año 1987 con el origen de este término en la comisión Brundtland, y que continúa de acuerdo a la línea de tiempo evidenciada en la ilustración 5. En la formación de este compromiso se han registrado cinco declaratorias (independientes a la declaración de Kyoto) y dos cartas de intención, que se han considerado como las piedras angulares para analizar los aspectos de la protección ambiental en las universidades (Conde, González, & Mendieta, 2006). Ya en el contexto del país, hasta hace unos pocos años se ha tomado conciencia de que las universidades también son organizaciones que generan impactos en el ambiente mediante su operación (Latorre & González, 2017).

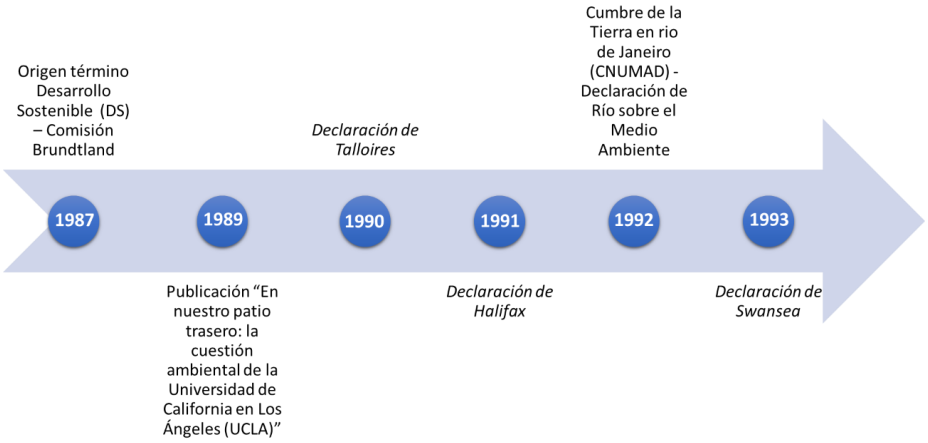




Ilustración 5*. Línea de tiempo de la construcción del concepto de Campus sostenible.*

Retomando la anterior consigna sobre la relación entre la construcción de un campus sostenible y la reducción de la huella de carbono, Rodríguez, en el año 2019, declaro que algunas de las acciones que se consideran en la implementación de un campus sostenible son la promoción de un ambiente universitario que siga un modelo de cuidado ante el ambiente y la salud; el fomento del uso responsable del agua, la energía y los recursos en general, así como la gestión responsable de los residuos y de las emisiones de GEI. De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta que desde las estrategias formuladas a partir de diversas experiencias en la implementación de un campus sostenible se produce una reducción consciente de la huella de carbono, se reconoce que las estrategias mencionadas a continuación, definidas en el contexto de un campus sostenible, son aplicables y permitirían la reducción en las emisiones de GEI generadas.

Rodríguez (2019) declara que dos estrategias comunes que se pueden desarrollar para el establecimiento de un campus sostenible son, la modernización del currículo de todos los programas de la universidad, con el fin de que los profesores y estudiantes puedan crear conocimiento y conciencia sobre la protección de los recursos naturales y el desarrollo sostenible, integrando los aspectos económicos, sociales y ambientales; y el desarrollo del ejercicio investigativo, mediante la implementación de programas que permitan la integración de estudiantes de pregrado y posgrado (maestrías y doctorados), con el fin de trasmitir el conocimiento creado.

Por su parte, Ferrão & de Matos, en el año 2017, declararon en el proyecto *"Sustainable Campus at Tecnico",* que buscaba mejorar la eficiencia y el rendimiento energético del campus del Instituto Superior Técnico (ITS) en la Universidad de Lisboa, que una herramienta importante fue involucrar a la comunidad estudiantil con los investigadores del IST, para que se aprovechara el conocimiento existente que ellos tenían acerca de la eficiencia energética, en la formulación e implementación de nuevas estrategias.

También existen algunas estrategias como la implementación de sistemas de energía renovable, mencionado anteriormente, que le proveen a la institución herramientas para tener una mejor gestión del recurso energético; Walker & Medler (2017) aseguran que se pueden instalar sistemas de aprovechamiento de energía fotovoltaico en tejados y toldos independientes, así como una pequeña planta de cogeneración que utilice biogás para la generación de energía, todo esto, sugieren los autores, debe estar acompañado de un monitoreo de tiempo real del consumo y la generación de energía en todo el campus.

Así mismo, La Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), localizada en la ciudad de São Paulo en Brasil, está desarrollando un proyecto que ejemplifica la adopción y desarrollo de varias estrategias diseñadas para la conversión del campus en un modelo sostenible, que permiten la reducción también de la huella de carbono. Dicho proyecto recibe el nombre de *eficiencia energética e investigación y desarrollo (I&D)*, y su objetivo es integrar las fuentes de energía renovable - como la energía solar o eólica- con el almacenamiento de energía de la universidad, así como modernizar la infraestructura de transporte del campus. Esta universidad instaló en varios sitios del campus, como las facultades, institutos, edificios administrativos y parqueaderos, plantas de microgeneración de energía fotovoltaica (da Silva, Villalva, & de Almeida, 2018).

Por otro lado, Rodríguez (2019) afirma que una importante estrategia para la construcción de un campus sostenible es el desarrollo de sistemas de medición en tiempo real del consumo de energía en todas las instalaciones del campus universitario. En ese sentido, la UNICAMP implementó un *mini-centro inteligente* para los datos de consumo y de operación del sistema de energía del campus, instalando medidores electrónicos en todas las unidades donde se registre consumo, con el fin de monitorear el consumo actual. El motivo de la implementación de este sistema, afirman ellos, es que un mal monitoreo del consumo de energía, junto a la falta de una rendición de cuentas financiera provoca el uso irracional e ineficiente de la energía (da Silva, Villalva, & de Almeida, 2018).

El Instituto Superior Técnico, de la Universidad de Lisboa, en su proyecto *"Sustainable Campus at Tecnico"*, estableció como un paso vital para la mejora de la eficiencia energética, una *auditoría energética* de todos los edificios del campus, con una cuantificación detallada del uso de energía, con el objetivo de conocer el consumo total y el consumo *stand-by*, además de la instalación de sistemas de medición del consumo de agua y gas en el campus. Ferrão & de Matos (2017) declaran que fue de gran importancia la implementación de estos sistemas debido a que brindan los datos necesarios para realizar una evaluación del progreso, además de ofrecer un análisis en tiempo real del consumo de agua y energía, que posibilita la introducción y control de acciones correctivas y de ajuste inmediatas.

En dicho proyecto, se incluyeron además rutinas de control más estrictas para el horario de uso de los equipos, con la introducción de periodos reducidos de actividad y la implementación de unas reglas específicas que evitaban el uso innecesario de agua y energía. Se realizó además el reemplazo de bombillas fluorescentes existentes por bombillas de tecnología LED, y la implementación de sensores de movimientos y lámparas con dos niveles de iluminación según el movimiento en los pasillos, con el fin de reducir el nivel de consumo energético (Ferrão & de Matos, 2017).

Así mismo, otras estrategias que se planteen pueden ir guiadas al diseño óptimo de los edificios, Walker & Medler, en el año 2017, declararon que la construcción de la infraestructura en un campus sostenible con principios de diseño solar pasivo, reduce la necesidad de usar energía mediante el aprovechamiento de la iluminación natural, el control solar y mecanismos de ventilación natural. Alshuwaikhat & Abubakar (2008) aseguran que dentro de las actividades que se formulen para la construcción de un campus sostenible, se debe involucrar estrategias en la planta física que exista y las nuevas edificaciones que se planeen para reducir el consumo de materiales y energía, teniendo en cuenta la reutilización, el reciclaje y la recirculación de los recursos hídricos.

Por último, se menciona que las ventajas de implementar un campus sostenible según la UNEP (2014) están dadas a que, como se ha demostrado, se puede conseguir un ahorro en los recursos financieros de la universidad al reducir el consumo de agua y energía, así como los costos de las operaciones y mantenimientos a largo plazo; las estrategias enfocadas en el ahorro de energía obtienen ganancias que superan los valores de diseño y construcción en un periodo considerable. Adicionalmente, investigaciones han comprobado que espacios con diseño ecológico pueden mejorar la productividad

de los trabajadores y la salud y el bienestar de los ocupantes, por lo que para la institución puede resultar en mejores retornos en los empleados.

Barreras para la implementación de estrategias de reducción de la huella de carbono

Las universidades son entidades complejas y multifacéticas, con diversas distribuciones organizacionales, tradiciones y preocupaciones, en donde debido a su naturaleza transitoria para la mayor parte de la comunidad universitaria los impactos reales de la institución no son reconocibles. En este sentido, los dos desafíos más claros a la hora de estructurar diferentes estrategias resultan ser la falta de compromiso y liderazgo universitario, y la falta de conciencia y participación tanto del personal de la universidad como de los estudiantes (UNEP, 2014).

En ese sentido, Ferrão & de Matos (2017) determinaron que existen dos circunstancias que intervienen en el éxito que puede tener la implementación de las estrategias de campus sostenible, enfocadas a la reducción de la huella de carbono; por un lado, se tienen las restricciones financieras que poseen las instituciones, y por otro lado que, año tras año nuevas generaciones de estudiantes llegan a usar el campus de la universidad, por lo que se requieren acciones continuas de sensibilización para mantener funcionando las acciones y estrategias implementadas. Además, argumentan que las acciones que sean propuestas desde las diferentes facultades y la academia en sí, aunque tengan gran valor, no funcionarán si no están conectadas a las operaciones centrales de la universidad.

La complejidad de la institución obstaculiza la mayoría de los intentos de creación de metas, alternativas y programas, consiguiendo únicamente la fragmentación del problema y los elementos de solución, limitaciones temporales y de atención, y la evasión de la incertidumbre (Conde, González, & Mendieta, 2006). Algunas de las barreras que puede tener la implementación de diferentes estrategias de esta índole en la universidad son el financiamiento, la burocracia, el territorialismo académico, un liderazgo inconveniente, o la resistencia a un currículo interdisciplinario (Rodríguez, 2019).

Así mismo, las estrategias para la reducción de la huella de carbono, fundamentadas en el contexto de la construcción de un campus sostenible en un entorno local son un reto, debido a que este ambiente no se encuentra acostumbrado a esto, por lo que se requiere un proceso constante de comunicación, negociación y educación; se deben implementar sistemas colaborativos y compartidos prominentes, donde se debe propender por tener además de mayor transparencia, mecanismos para compartir la toma de decisiones y las responsabilidades (Walker & Medler, 2017).

METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló a partir de tres fases, la primera se centra en la determinación de la huella de carbono de la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero (para el año 2019), de acuerdo a las metodologías propuestas por la norma internacional ISO 14064:2006 y el Greenhouse Gas Protocol; posteriormente en la segunda fase, con base al valor encontrado y a la bibliografía consultada se identificaron las estrategias que pueden contribuir en la reducción de las emisiones de GEI del campus; finalmente, en la última etapa se realizó la aproximación de la reducción de la HC que se obtendría con la adopción simultanea de las medidas propuestas:

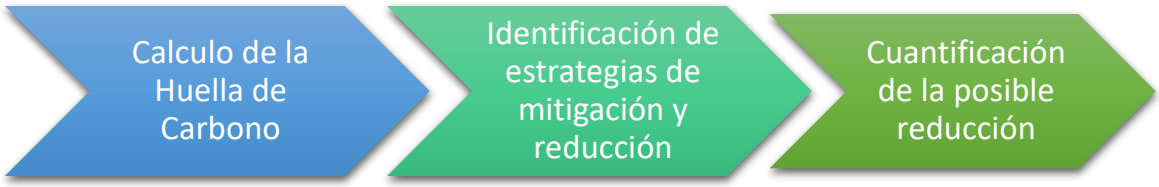


Ilustración 6. *Metodología para la determinación de la huella de carbono de la facultad Medio Ambiente y Recursos Naturales de UDFJC.*

El alcance de esta investigación se fundamenta en aquellas actividades sobre las que la facultad puede ejercer control, y de ese modo puede actuar sobre ellas. En este sentido, se considera que la institución tiene control operacional y administrativo sobre el consumo de energía, el consumo de papelería, la generación de residuos sólidos y la realización de prácticas académicas, con todo lo que esto incurre. Del consumo de combustible, dentro de los limites operacionales de la facultad, se considera solamente el que se deriva de las prácticas académicas, y no se considera el asociado al transporte de la comunidad académica desde y hacia la facultad, esto debido, a que como se dijo anteriormente, únicamente se toma en cuenta aquellas actividades sobre las cuales puede actuar la universidad; por lo que tipo de transporte, por su complejidad, no se considera dentro de los límites de operación.

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Para la determinación de la huella de carbono de la institución se establecieron los siguientes pasos a seguir, dentro de los cuales el primero se fundamenta en la definición de límites físicos y operativos de la institución:

1. **DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES**:

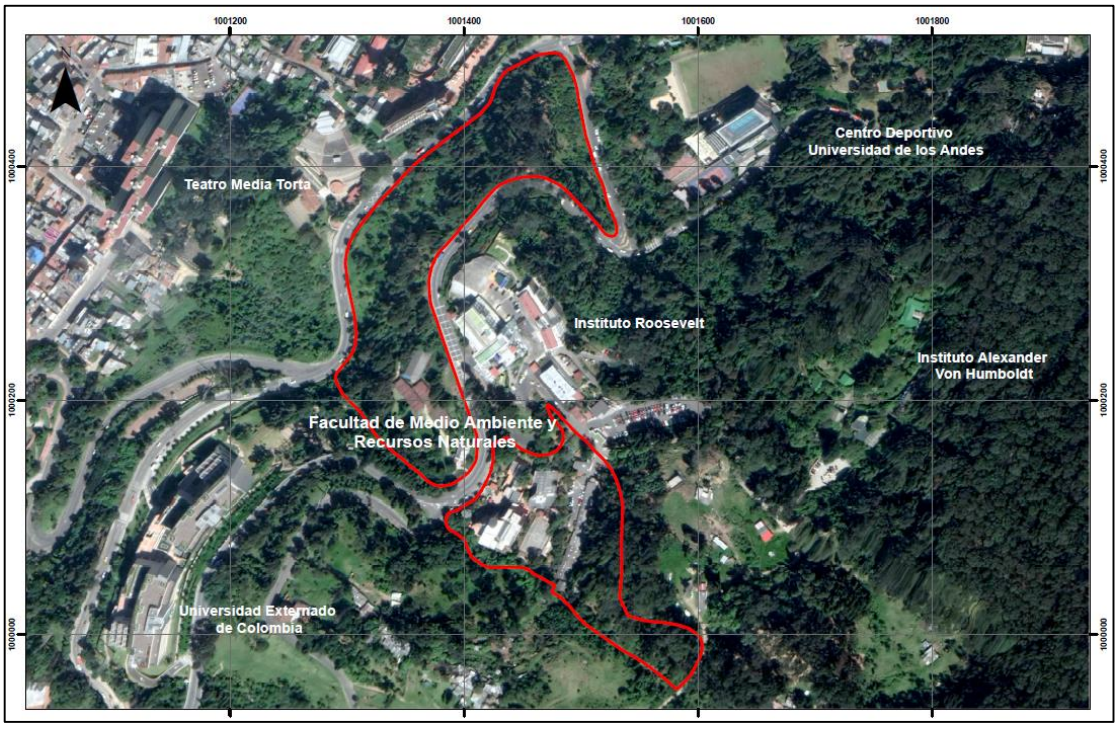


Ilustración 7. *Zona de Estudio: Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales - sede Vivero. UDFJC*

Se determinó que los límites físicos y operativos de la organización corresponden a la delimitación dada en la ilustración 7 (Ver anexo 1). La zona de estudio se localiza en la sede Vivero de la Facultad de Medio ambiente y Recursos Naturales, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ubicada geográficamente entre las localidades de La Candelaria y Santa Fe en la ciudad de Bogotá.

La Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales es una de las cinco facultades pertenecientes a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; esta institución, fundada en 1970, está constituida por 43 programas de pregrado y 40 de posgrado, y de acuerdo a las estadísticas, su comunidad académica está conformada por 28.606 estudiantes al año 2020 (Coordinación General de Autoevaluación y Acreditación Institucional, 2020); del mismo modo, al semestre 2019-3 en la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad se contaba con 5.424 estudiantes matriculados (Coordinación General de Autoevaluación y Acreditación, 2019).

Así mismo, la facultad en estudio fue fundada en el año 1994 y cuenta actualmente con dos sedes. La sede objeto de estudio, según las estadísticas del grupo de Desarrollo Físico de la Oficina Asesora de Planeación y Control (2016), cuenta con un área total de 5 ha, de las cuales 4,13 ha son zonas blandas, conformadas por bosque y zonas verdes, 3,98 ha corresponden a cobertura boscosa, y el área construida de la facultad corresponde solamente a 0,326 hectáreas distribuidas en edificios y construcciones menores. La otra sede de la facultad se localiza en la localidad de Bosa y entro en funcionamiento desde el año 2017.

2. **IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN Y REMOCIÓN**: Una vez establecidos los límites de la institución, se identificaron las fuentes de emisión y remoción presentes dentro de la misma, analizándose las actividades que desarrolla la comunidad universitaria al interior del campus. Se tuvieron en cuenta los tres alcances descritos en la ISO 14064, además del control que tenía la universidad sobre las posibles fuentes:

    - ALCANCE 1: Emisiones y remociones directas, generadas dentro de los límites de la institución.
    - ALCANCE 2: Emisiones indirectas derivadas del consumo de energía.
    - ALCANCE 3: Otras emisiones indirectas (tales como las derivadas del consumo de papelería, consumo de combustible producto de las salidas de campo y la generación de residuos derivados de las actividades de la institución).

    Al tener las fuentes de emisiones identificadas, se recolectaron los datos referentes a la actividad generadora de GEI para el periodo de estudio (año 2019). Para el segundo alcance, se solicitaron las facturas de energía de la facultad con el fin de conocer el consumo total (KWh) correspondiente al año 2019; Con respecto al tercer alcance, para el caso de las emisiones derivadas de la generación de residuos sólidos, se solicitaron las facturas de aseo de la facultad para el año de estudio; para el caso del consumo de combustible derivado de las prácticas académicas se solicitó información referente a la cantidad de prácticas realizadas para el año 2019, con sus correspondientes rutas y número de personas transportadas; y finalmente, para las emisiones derivadas del consumo de papelería se tomó en cuenta el registro de residuos de papelería generados en la facultad en el año de interés.

    Para el caso de la identificación de las remociones, esta se realizó mediante el análisis de los datos declarados en el Informe de actualización del inventario forestal en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Oficina Asesora de Planeación y Control, del Sistema de

Gestión Ambiental de la Universidad en el año 2016. En este documento se recopilan la cantidad de individuos por especies que se presentan en el área de la facultad, y se documenta la distribución de diámetro y altura para cada individuo presente. Junto a esto, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de encontrar la densidad de la madera de cada especie. Las fuentes de información de este criterio se basaron para la mayoría de especies y familias en Zanne (2009) y en el World Agroforestry (s.f.), de acuerdo a la recomendación dada por Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez (2011).

3. **CÁLCULO DE LAS EMISIONES Y REMOCIONES**: Luego de tener los datos de cada fuente de emisión y remoción, se calculó la cantidad de CO_2 equivalente a partir de los siguientes factores de emisión:

Tabla 10. *Factores de emisión*

Fuente de emisión	Factor de emisión	Fuente
Consumo de combustible derivado de las prácticas académicas	74.100 Kg CO_2 e/TJ	(IPCC, 2007) citado en (Elecnor, 2018, pág. 18)
Generación de residuos sólidos	12,83 Kg CO_2 e/Kg RS	(IPCC, 2007) citado en (Carrasco Leal, 2015, pág. 15)
Consumo de papel	0,939 Kg CO_2 e. /Kg	(Auchan Retail, 2019, pág. 14)
Consumo de energía	0,23 ton CO_2 e/MWh	(Herrera Flórez, 2015, pág. 23)

Estos factores se multiplicaron por los datos de la fuente de emisión respectiva para obtener la cantidad de CO_2 equivalente por medio de las siguientes ecuaciones:

Tabla 11. *Ecuaciones para el cálculo de las huellas de carbono de las fuentes de emisión identificadas*

Ecuación	Observaciones
$$\boldsymbol{HC_1}\ (\boldsymbol{CO2\ eq}) = 74100 \frac{Kg\ CO2\ e}{TJ} * Consumo\ de\ energía\ (TJ)$$ ***Ecuación 7.*** *Huella de carbono del consumo de combustible derivado de las prácticas académicas.*	En donde: HC_1 es la huella de carbono del consumo de combustible derivado de las prácticas académicas y se puede expresar en Kg o Ton de CO_2 equivalente. El consumo de energía se determinó a partir del poder calorífico del combustible usado.
$$\boldsymbol{HC_2}\ (\boldsymbol{CO2\ eq}) = 12{,}83 \frac{Kg\ CO2\ e}{Kg\ RS} * Residuos\ generados\ (Kg)$$ ***Ecuación 8.*** *Huella de carbono de la generación de residuos sólidos.*	En donde: HC_2 es la huella de carbono asociada de la generación de residuos sólidos y se puede expresar en Kg o Ton de CO_2 equivalente.
$$\boldsymbol{HC_3}\ (\boldsymbol{CO2\ eq}) = 0{,}939 \frac{Kg\ CO2\ e}{Kg} * Papel\ consumido\ (Kg)$$ ***Ecuación 9.*** *Huella de carbono del consumo de papelería.*	En donde: HC_3 es la huella de carbono del consumo de papel y se puede expresar en Kg o Ton de CO_2 equivalente.

	El papel consumido se puede determinar a partir del peso de las resmas consumidas o del peso directo del papelería utilizado.
$$\boldsymbol{HC_4}\ (\boldsymbol{CO2\ eq}) = 0{,}23 \frac{ton\ CO2\ e}{MWh} * Enegía\ consumida\ (MWh)$$ ***Ecuación 10**. Huella de carbono del consumo de energía.*	En donde: HC_4 es la huella de carbono del consumo de energía y se puede expresar en Kg o Ton de CO_2 equivalente. La energía consumida corresponde a los MWh utilizados para el año de estudio (2019).

Con respecto al cálculo de las remociones de GEI, la metodología usada comúnmente es el establecimiento del carbono fijado en los sumideros de acuerdo a su biomasa, con un factor de equivalencia del 50%. Yepes, Navarrete, Duque, Phillips & Álvarez, en el año 2011, determinaron que el primer paso para medir la captura de carbono (en este caso del compartimiento de biomasa aérea) mediante el método indirecto es la determinación del área de estudio, para proceder con la estratificación del espacio, debido a que esta permitiría analizar las coberturas y/o usos de la tierra que se presentan en la zona y que pueden representar diferencias en las existen de carbono almacenado al interior de la zona.

El paso siguiente es la delimitación de las parcelas, para escala local los autores recomiendan que tengan un tamaño entre 0,25 y 1 ha dependiendo de las características particulares del proyecto, como el alcance, el nivel de precisión deseado y los recursos disponibles. La localización de las parcelas se realiza de acuerdo a un muestreo aleatorio, con una precisión de ±10% y un intervalo de confianza del 95% (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011).

Después de la delimitación de las parcelas, se lleva a cabo la marcación de los árboles sobre cada uno de los individuos que estén enraizados en dicha área, para continuar con la medición de las variables necesarias. El diámetro de los árboles se mide en la corteza a una altura estándar de 1,30 m desde el punto donde el tallo principal sale del suelo, los instrumentos recomendados para realizar la medición en individuos pequeños (D<6cm) es el calibrador, y para individuos grandes (D>10 cm) la cinta métrica o forcípula (Vallejo, y otros, 2005). Por otro lado, la altura de un árbol se puede medir directa o indirectamente, mediante el uso de cinta métrica en individuos caídos o con alturas menores a 3 metros, o el uso de instrumentos como clinómetro o hipsómetro (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011).

A continuación, se utiliza una ecuación alométrica, las cuales emplean como variables usualmente el diámetro a la altura del pecho, la altura del árbol, y la densidad de la madera. Álvarez y otros, en el año 2012, determinaron un conjunto de 18 ecuaciones alométricas divididas en tres subconjuntos y diferenciadas de acuerdo a seis zonas de vida según la clasificación de Holdridge, que a partir de un análisis estadístico donde se comparó la precisión en la estimación de la biomasa aérea arrojada por diferentes ecuaciones existentes en la literatura científica, se estableció que son aplicables para estimar la biomasa de los bosques naturales de Colombia. Para este caso, se eligió el tercer subconjunto de ecuaciones, que incluye las siguientes tres variables: diámetro a la altura del pecho (D; cm), la altura (H; m) y densidad de la madera (ρ; g cm-3).

$$\ln[BA] = a + B1ln[D^2H\rho]$$

Ecuación 11. *Ecuación alométrica con las variables de altura, diámetro y densidad de la madera*

Donde BA es la biomasa aérea (kg); a y B1 son las constantes del modelo. Dichas constantes del modelo son dadas de acuerdo a la zona de vida en la que se encuentre el espacio de estudio. Las zonas de vida que sugiere Álvarez y otros (2012) corresponden a bosque húmedo montano (bh-M), bosque húmedo montano bajo (bh-MB), bosque húmedo premontano (Bh-PM), bosque húmedo tropical (bh-T), bosque pluvial tropical (bp-T) y bosque seco tropical (bs-T).

En este sentido, según la información reportada por la Secretaria Distrital de Ambiente en el año 2019, en los mapas de Precipitación anual acumulada y de Temperatura media superficial, desarrollados mediante modelos geoestadisticos construidos a partir de los datos entregados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), el área de estudio tiene una precipitación media anual de 874 mm y una temperatura media de 13,77°C, a una altura aproximada sobre el nivel del mar de 2.730 metros. Lo que corresponde a una zona de vida de Bosque húmedo montano bajo (bh-MB), según la caracterización dada por Guzmán, en el año 1996. En ese orden de ideas, la ecuación alométrica correspondiente para el área de estudio es:

$$\ln[BA] = -1{,}993 + 0{,}932\ ln[D^2H\rho]$$

Ecuación 12. *Ecuación alométrica para la zona de vida de Bosque húmedo montano bajo*

Finalmente, para hallar la biomasa aérea total [BAT] se suma la biomasa obtenida para todos los arboles vivos, y el valor obtenido es multiplicado por el valor de conversión según el tamaño de parcela, y debe ser reportado en unidades de toneladas por hectárea:

$$\boldsymbol{BAT}\left(\frac{\boldsymbol{ton}}{\boldsymbol{ha}}\right) = BA\left(\frac{kg}{parcela}\right) \times \left(\frac{1\ ton}{1000\ kg}\right) \times FC$$

Ecuación 13*. Determinación de la biomasa aérea total*

Donde, BA es la biomasa aérea, y FC es el factor de conversión que se debe emplear según el tamaño de parcela utilizado.

Tabla 12. *Factores de conversión para la obtención de la biomasa aérea en unidades de toneladas por hectáreas.*

Tamaño (ha)	Dimensiones (m^2)	Factor de conversión
0.010	10 x 10	100
0.040	20 x 20	25
0.0625	25 x 25	16
0.25	50 x 50	4
1	100 x 100	1

Nota: Informada tomada de Yepes, Navarrete, Duque, Phillips & Álvarez (2011)

Este último valor de la biomasa total es necesario convertirlo a la cantidad de carbono que fue fijado, según la mayoría de los estudios se estima que en los bosques tropicales, la biomasa de los arboles vivos contiene aproximadamente el 50% de carbono, por lo que sugiere usar un factor de 0,5 para transformar la biomasa en carbono (Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez, 2011). La obtención de dióxido de carbono equivalente se encuentra empleando el factor de conversión de la IPCC de 44/12 ≈ 3,67 con la cantidad de toneladas de carbono obtenidas (IPCC, 2006).

4. **DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE Y CALIDAD DE LOS DATOS**: Adicionalmente, según lo determinado en la ISO 14064-1 acerca de la necesidad de evaluar y especificar la incertidumbre para la emisión y la remoción de los GEI, se utilizó el modelo de la parte 3 "Guide to the expression of uncertainty in measurement" de la guía ISO/IEC GUIDE 98-3 "Uncertainty of measurement" para encontrar dicho valor para la serie de datos correspondiente al consumo de energía eléctrica, ya que esta era la única serie de datos dentro de la cual no debía existir gran variación entre valor y valor.

Para determinar la incertidumbre de los valores de consumo de energía, primero se dividieron en tres grupos los conjuntos de datos de los edificios natura, administrativos y laboratorios con base al consumo observado, en busca de reducir su incertidumbre; el primer grupo estaba compuesto por los meses de enero y diciembre, en los cuales no se contaba con población estudiantil activa en las instalaciones; para definir los siguientes dos grupos, se determinó el promedio de los datos de consumo correspondientes a los meses restantes, en donde, los que estuviesen sobre el promedio se consideraron dentro del segundo grupo referente a los meses con alto consumo de energía, y de la misma manera, los valores que estuviesen por debajo del promedio se tomaron como los referentes a los meses con bajo consumo de energía.

Con respecto a los datos de consumo de carpintería se aplicó la misma metodología anterior, sin embargo no se contempló la distribución en tres grupos, sino solo en dos: los meses de alta actividad y los meses de baja actividad. Se siguió la misma metodología de asignar los límites de acuerdo al promedio obtenido, pero los meses de enero y diciembre, considerados de vacaciones, fueron contemplados dentro de los meses de baja actividad.

Una vez se tenían los grupos conformados, se hallaba la media aritmética o promedio para cada uno de ellos por medio de la siguiente ecuación:

$$\overline{\boldsymbol{Ce}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Ce_i$$

Donde: $\overline{\boldsymbol{Ce}}$ es la media aritmética
Ce_i es el consumo de energía (MWh)

Ecuación 14. *Media aritmética de los datos de energía eléctrica.*

Luego, a partir de la media aritmética, se calculó la desviación estándar para cada grupo de datos respectivamente, por medio de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{n}-1}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}(Ce_i - \overline{Ce})^2}$$

Dónde: $\boldsymbol{\sigma}$ es la desviación estándar
$\overline{\boldsymbol{Ce}}$ es la media aritmética
Ce_i es el consumo de energía (MWh)

Ecuación 15. *Desviación estándar de los datos de energía eléctrica.*

Posteriormente, se determinó la incertidumbre asociada a cada conjunto de datos por medio de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{In_i} = \pm\left(\frac{1.96 * \sigma}{\overline{\mathrm{Ce}}}\right) * 100\%$$

Donde: $\boldsymbol{In_i}$ es la incertidumbre
$\boldsymbol{\sigma}$ es la desviación estándar
$\overline{\boldsymbol{Ce}}$ es la media aritmética
Y el 1,96 está dado por el intervalo de confianza escogido (95%)

Ecuación 16. *Incertidumbre de los datos de energía*

Finalmente, se calculó la incertidumbre global asociada a los datos de consumo de energía eléctrica por medio de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{In_g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} In_i$$

Donde: $\boldsymbol{In_g}$ es la incertidumbre global de los datos de energía eléctrica y $\boldsymbol{In_i}$ es el valor de la incertidumbre de cada grupo de datos.

Ecuación 17. *Incertidumbre global de los datos de energía eléctrica.*

Por otro lado, la incertidumbre para los demás datos de emisión utilizados en el cálculo de la huella de carbono se determinó de manera cualitativa, teniendo en cuenta la fuente de la cual se obtuvieron los mismos y si estos se midieron de manera directa o fueron estimados. Se asignaron tres categorías con base a lo anteriormente mencionado: incertidumbre alta, para el caso de que los datos fuesen estimados con base a valores tomados de artículos científicos u documentos afines; incertidumbre media, para el caso de los datos que fueran estimados con base a valores obtenidos de fuentes oficiales, que en este caso serían las dependencias administrativas de la universidad; e incertidumbre baja para el caso de los datos que fueron obtenidos y medidos por parte de fuentes oficiales.

Para el caso de los factores de emisión, se consideró que estos presentaban una incertidumbre baja debido a que fueron obtenidos de fuentes oficiales como el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático), el Departamento Gubernamental del Reino Unido para el Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales y la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética).

Adicionalmente, se determinó la calidad de los datos con base a la metodología establecida por la Guía de la Huella Ambiental de Productos y Organizaciones de la Unión Europea (2013), en donde se establecen 6 criterios base: la integralidad de los datos (I), en donde se evaluó si estos tenían una cobertura total o parcial de los alcances identificados; la idoneidad y coherencia metodológica (C), en donde se analizó si la metodología escogida fue aplicada de manera correcta y tenía concordancia con el objetivo del estudio; la representatividad temporal (Rtem), para la cual se determinó si los datos reflejaban las condiciones específicas de la institución para el periodo de estudio; la representatividad tecnológica (Rtec), en donde se evaluó si los datos de la actividad representaban la fuente de emisión involucrada; la representatividad geográfica (Rg), en la que se tuvo en cuenta si los datos pertenecían o reflejaban el contexto especifico de los límites geográficos establecidos, y la precisión o incertidumbre (P), la cual fue determinada anteriormente.

Estos seis criterios se evaluaron para cada una de las fuentes identificadas, puntuándose de acuerdo a lo indicado en la tabla número 3, para posteriormente calcular la calidad de los datos (CD) por medio de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{CD} = \frac{I + C + Rtem + Rtec + Rg + P}{6}$$

Ecuación 18. *Calidad de los Datos*

Finalmente, para la interpretación de los resultados se tuvo en cuenta lo descrito en la tabla número 4.

5. **CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL:** Finalmente, para obtener la huella de carbono total asociada a la institución, se realizó la sumatoria de las emisiones de CO_2 equivalente halladas para cada una de las fuentes identificadas y a esto se le restó las remociones determinadas; lo anterior se obtuvo por medio de la siguiente ecuación, en la cual es importante tener las variables en una misma unidad, es decir en toneladas de CO_2 equivalente en Kg de CO_2 equivalente:

$$HC\ (CO_2eq.) = (\sum_{n}^{1} HC_1 + \cdots + HC_n) - Remociones$$

Ecuación 19. *Cálculo de la huella de carbono total.*

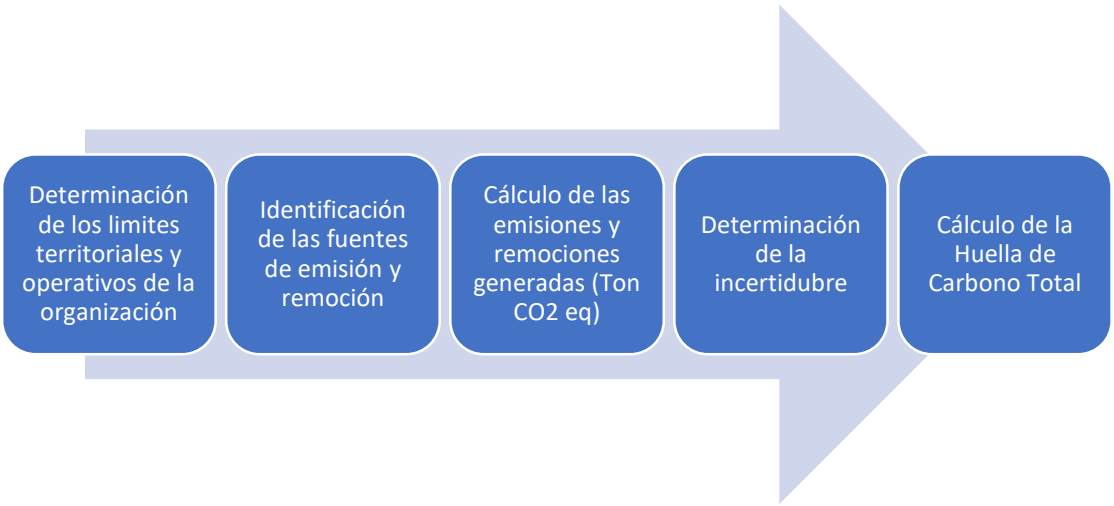


Ilustración 8. *Metodología para el cálculo de la huella de carbono.*

IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN

Una vez calculada la huella de carbono de la sede, se procedió a formular las estrategias de mitigación y compensación, que permitieran la reducción de esta. Para el desarrollo de las mismas se analizaron los anteriores datos recolectados, que permitieron el cálculo de la huella de carbono, con el fin de obtener cuales eran los factores que incidían más de las emisiones de GEI, cuál era el componente que más emitía, así como cuáles eran las posibles causas de esto. La determinación del comportamiento de las emisiones de los diferentes componentes y las causas de cada uno de ellos, permitieron identificar cuáles eran las áreas que podían tener mayor implicación en la reducción de la huella de carbono, y sobre las cuales se debería focalizar el trabajo.

A partir de una revisión bibliográfica de estrategias y herramientas que se han implementado en diferentes organizaciones o universidades, y teniendo en cuenta las formuladas también en el marco de los campus sostenibles, se eligió aquellas que se consideraron aplicables y que permitían una reducción de la huella de carbono en el contexto de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero de la UDFJC.

Dentro del componente del consumo eléctrico, se identificaron aquellas estrategias que permitieran su reducción, a través de medidas que disminuyeran el consumo por parte de la iluminación y los equipos electrónicos, al ser estos los factores que más inciden sobre este componente; además de medidas que permitan controlar y evaluar periódicamente el consumo de energía. Se consideraron los siguientes enfoques para la implementación de las estrategias propuestas para la disminución del consumo de energía de la facultad:

***Tabla 13**. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo eléctrico.*

ENFOQUE	OBJETIVO
Instalación de tecnologías fundamentadas en la iluminación	Disminuir el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de la facultad, mediante la transición a un sistema de iluminación más eficiente, la reducción en el número de luminarias usadas, y las horas de uso de las mismas.
Implementación de un sistema de energía limpia o alternativa.	Suministrar energía limpia a una dependencia de la facultad, mediante el aprovechamiento de una energía alternativa, que permita la reducción del consumo de energía proveniente de la fuente habitual.
Control del tiempo de encendido de equipos ofimáticos	Disminuir el consumo de energía eléctrica de algunos de los equipos ofimáticos de la facultad, mediante la reducción en las horas de encendido y uso de estos.
Implementación de un sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica	Controlar el consumo de energía eléctrica del campus, con el fin de evaluar y controlar las medidas implementadas para reducir el consumo.

Por otro lado, del componente de generación de residuos sólidos, se identificaron medidas que permitieran el máximo aprovechamiento posible de estos dentro de la sede, para que de esta manera, se redujera su disposición en el relleno sanitario, e indirectamente se provocará la reducción de las emisiones derivadas de su producción. Se consideraron los siguientes enfoques para la formulación de las estrategias:

***Tabla 14.** Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la generación de residuos sólidos.*

ENFOQUE	OBJETIVO
Correcta separación en la fuente	Disminuir la generación de residuos sólidos, mediante la correcta separación y clasificación de estos en la facultad, para realizar el aprovechamiento de los residuos que fueron dispuestos para tal fin.
Aprovechamiento de residuos	Disminuir la cantidad de residuos que son destinados a la disposición final en el relleno sanitario, mediante el aprovechamiento de la mayor cantidad posible de estos.

Así mismo, para el componente de consumo de combustible, se identificaron aquellas herramientas y comportamientos que permitieran que el consumo de los buses disminuyera, dentro de los límites de aplicación o intervención que posee la universidad en la contratación de la flota automotriz destinada para las prácticas académicas. Los enfoques que se tuvieron en cuenta para la formulación de las estrategias, se muestran en la tabla 15:

Tabla 15. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo de combustible.

ENFOQUE	OBJETIVO
Implementación de buenas técnicas de conducción	Reducir el consumo de combustible por parte de la flota automotriz, mediante la promoción a los conductores de diferentes técnicas que permiten disminuir este consumo.
Contratación de vehículos más eficientes	Reducir el consumo de combustible por parte de la flota automotriz, mediante el empleo de vehículos más eficientes en términos energéticos y de consumo de combustible.

Igualmente, con respecto al consumo de papelería, se identificaron aquellas medidas que condujeran a la reducción de las emisiones derivadas de la fabricación y utilización de este recurso, mediante los enfoques expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 16. Enfoques para la determinación de las estrategias dirigidas a la reducción del consumo de papelería

ENFOQUE	OBJETIVO
Adquisición de papelería menos contaminante	Disminuir las emisiones generadas por el consumo de papelería, mediante la adquisición de mejores insumos, que produzcan una huella de carbono menor durante su fabricación
Reutilización y reciclaje del recurso	Disminuir el consumo de papelería, mediante la implementación de diferentes medidas que permitan que el personal y la comunidad académica de la facultad reciclen y reutilicen el recurso.

A su vez, se formuló una estrategia que permitiera la reducción de la huella de carbono, desde una medida de compensación, teniendo en cuenta que es una medida que se aplica posterior a la construcción del edificio y al mismo tiempo que se presentan aquellas actividades generadoras de emisiones. Se identificó una acción que permitiera simultáneamente la operación cotidiana de la facultad y la reducción de la huella de carbono de la misma, mediante la remoción de emisiones de GEI por parte de un sumidero.

Las estrategias fueron desarrolladas dependiendo del enfoque o actividad que es fuente de emisión y que deriva en el aumento de la huella de carbono; se elaboraron por medio de un formato de ficha, en el cual se expone el valor de la huella de carbono al que se enfocaba la estrategia junto con su correspondiente alcance para especializar cada estrategia, la justificación de su planteamiento, la descripción detallada de esta y un presupuesto estimado para el desarrollo de la misma.

CUANTIFICACIÓN DE LA POSIBLE REDUCCIÓN

Luego de tener las estrategias para la reducción y mitigación de la huella de carbono de la facultad, se procedió a realizar una estimación de la posible reducción de emisiones de GEI que podrían conseguirse si se adoptaran dichas medidas; la estimación consiste en la posible reducción que se obtendría al aplicar las estrategias en el consumo de energía eléctrica, en la generación de residuos sólidos, en el consumo de combustible producto de la realización de las prácticas académicas y por último, en el consumo de papel. Dicha reducción se estimó de acuerdo a bibliografía consultada,

donde diversos autores, de acuerdo a su experiencia, sugerían un aproximado del ahorro que se puede conseguir al implementar una medida especifica.

***Tabla 17**. Ecuaciones usadas para determinar la huella de carbono con las reducciones generadas por las estrategias.*

Ecuación	Observaciones
$$\boldsymbol{HC_{Ree}} = HC_{ee} - R_{ee}$$ ***Ecuación 20.** Huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica con reducción.*	Donde: **HC_{Ree}** = Huella de carbono con reducciones derivada del consumo de energía eléctrica (Ton CO_2 eq.). HC_{ee} = Huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica para el año 2019 (Ton CO_2 eq.). R_{ee} = Reducción de la huella de carbono generada por las estrategias enfocadas a consumo de energía eléctrica (Ton CO_2 eq.).
$$\boldsymbol{HC_{Rgr}} = HC_{gr} - R_{gr}$$ ***Ecuación 21.** Huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos reducción.*	Donde: **HC_{Rgr}** = Huella de carbono con reducciones derivada de la generación de residuos sólidos (Ton CO_2 eq.). HC_{gr} = Huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos para el año 2019 (Ton CO_2 eq.). R_{gr}= Reducción de la huella de carbono generada por las estrategias enfocadas a residuos sólidos (Ton CO_2 eq.).
$$\boldsymbol{HC_{Rcc}} = HC_{cc} - R_{cc}$$ ***Ecuación 22.** Huella de carbono derivada del consumo de combustible asociado a las prácticas académicas con reducción.*	Donde: **HC_{Rcc}** = Huella de carbono con reducciones derivada de la generación del consumo de combustibles asociado a las practicas académicas (Ton CO_2 eq.). HC_{cc} = Huella de carbono derivada del consumo de combustibles asociado a las practicas académicas para el año 2019 (Ton CO_2 eq.). R_{CC}= Reducción de la huella de carbono generada por las estrategias enfocadas a consumo de combustible (Ton CO_2 eq.).
$$\boldsymbol{HC_{Rcp}} = HC_{cp} - R_{cp}$$ ***Ecuación 23**. Huella de carbono derivada del consumo de papelería con reducción.*	Donde: **HC_{Rcp}** = Huella de carbono con reducciones derivada del consumo de papelería (Ton CO_2 eq.). HC_{gr} = Huella de carbono derivada del consumo de papelería para el año 2019 (Ton CO_2 eq.). R_{gr}= Reducción de la huella de carbono generada por las estrategias enfocadas a consumo de papelería (Ton CO_2 eq.).
$$\boldsymbol{Compensación} = FR * Ac$$ ***Ecuación 24**. Compensaciones generadas por la cubierta verde.*	Donde: Fr= Factor de remoción de la cubierta vegetal (Ton CO_2/m^2) Ac= Área cubierta verde (jardín vertical) (m^2)
$$\boldsymbol{HC_{RT}}\,(ton\ CO_2eq) = \sum HC_{Ree} + HC_{Rgr} + HC_{Rcc} + HC_{Rep} - Compensación$$ ***Ecuación 25.** Huella de Carbono total con remociones.*	

A continuación, esta disminución tanto en el consumo de energía eléctrica, combustible y papelería, como en la generación de residuos sólidos, se tradujo en la reducción de la huella de carbono que se conseguiría. Lo anterior se realizó siguiendo la metodología propuesta por los autores en el primer paso de este apartado (cálculo de la huella de carbono), en donde se utilizaron los nuevos datos de consumo de las actividades impactantes, y partir de los factores de emisión de la tabla 10 y las ecuaciones consignadas en la tabla 11, se obtuvo la nueva huella de carbono de cada componente.

De la misma forma, para calcular la reducción en términos de porcentaje y de toneladas de CO_2 equivalente de la huella de carbono, se comparó la nueva HC que se obtendría con la HC determinada para el año 2019, a partir de las ecuaciones construidas por los autores y consignadas en la tabla 17, donde se calculó la reducción de la HC por cada componente, así como la compensación que se conseguiría al construir e implementar un sistema de fijación de carbono en la facultad; estos datos permiten encontrar la reducción total de la huella de carbono que se propone puede conseguirse con la implementación simultanea de todas las medidas aquí formuladas.

RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Dentro de las actividades que desarrolla la comunidad en la Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales – Sede Vivero, se encuentran las prácticas académicas asociadas a las asignaturas de los diferentes proyectos curriculares, estas conllevan al consumo de combustible necesario para la movilidad de estudiantes y docentes a las diferentes zonas de estudio, por lo cual se consideró como fuente de emisión de gases efecto invernadero.

Para la determinación de las emisiones de CO_2 equivalente, se contaba con los datos referentes a la cantidad de salidas académicas realizadas para el periodo 2019-I a 2019-III por cada proyecto curricular de la facultad, indicándose cuál fue la ruta tomada y cuantas personas fueron movilizadas, por lo cual se procedió a determinar la cantidad de kilómetros asociados a cada ruta y la cantidad de vehículos utilizados para cada salida, lo anterior con apoyo de lo mencionado por el Ministerio de Transporte en su informe de Caracterización del Transporte en Colombia (2005), en donde se indica que los buses cuentan en promedio con 30 sillas para pasajeros, las busetas con 24 y los microbuses 14.

Una vez se obtuvieron estos datos, se procedió a realizar la determinación de la cantidad de combustible consumido, asumiéndose que éste era diésel por ser el que presenta más demanda a nivel nacional de acuerdo con Ecopetrol (2019, pág. 18); para esto se tuvo en cuenta un rendimiento de 9,75 kilómetros por galón para los buses y busetas, y 42,9 kilómetros por galón para los microbuses (Behrentz, Espinosa, Joya, Peña, & Prada, 2014, págs. 13 - 14). Posteriormente, se asoció este rendimiento con el poder calorífico del diésel genérico, que según Carrasco Leal (2015, pág. 6) es de 42,67 MJ/kg (dicho valor se pasó a MJ/gal con ayuda de la densidad del diésel genérico presentada por el mismo autor, la cual es de 869,94 kg/m3) para poder obtener el valor correspondiente al trabajo o energía derivado de esta actividad en el año de estudio (2019).

Tabla 18. *Salidas de campo realizadas en FAMARENA - Sede Vivero para el periodo 2019-1 a 2019-3 con sus respectivas distancias recorridas, consumos de diésel y trabajo asociados.*

Proyecto curricular	Nº de salidas	Número			Distancia recorrida (Km)			Consumo (Galones/año)			Trabajo (MJ/año)
		Buses	Busetas	Micro buses	Buses y Busetas	Micro Buses	Total	Buses y Busetas	Micro Buses	Total	
Especialización En Ambiente Y Desarrollo Local	4	4	0	0	710,1	0	710,1	72,83	0	72,83	10219,24
Especialización En Diseño De Vías, Urbanas, Tránsito Y Transporte	1	1	0	0	276	0	276	28,31	0	28,31	3971,99
Especialización En Gerencia De Recursos Naturales	4	0	4	0	1502	0	1502	154,05	0	154,05	21615,69
Ingeniería Ambiental	33	17	13	14	8284,8	3944,9	12229,7	849,72	91,96	941,68	132131,55
Ingeniería Forestal	45	22	20	18	14658,4	5556	20214,4	1503,43	129,51	1632,94	229125,24
Ingeniería Topográfica	2	3	0	1	2133	233	2366	218,77	5,43	224,20	31458,66
Maestría En Desarrollo Sustentable Y Gestión Ambiental	5	0	1	4	90	780,9	870,9	9,23	18,20	27,43	3849,34
Maestría En Manejo, Uso Y Conservación Del Bosque	1	0	0	1	0	854	854	0	19,91	19,91	2793,21
Tecnología En Levantamientos Topográficos	15	7	9	5	2666,4	971,2	3637,6	273,48	22,64	296,12	41549,23
TOTAL	**170**	**96**	**78**	**64**	**30320,7**	**12340**	**42660,7**	**3109,82**	**287,65**	**3397,46**	**476714,36**

Finalmente, se obtuvo que para el periodo 2019-1 – 2019-3, las salidas de campo realizadas por los proyectos curriculares de la Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales – Sede Vivero conllevaron un recorrido total de 42.660,7 kilómetros, con un consumo aproximado de 3.397,46 galones de diésel, asociado a un consumo de energía de 476.714,36 Megajoules. Lo anterior, por medio de la ecuación Nº 7 y usando el factor de emisión para el diésel (74.100 Kg CO_2 e/TJ) indicado por la IPCC (2007) citada por Elecnor (2018, pág. 18) arrojó un valor total de **35,32 toneladas (ton) de CO_2 eq.**

GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Una de las fuentes de emisión con mayor relevancia es la relacionada con la generación de residuos sólidos en la sede, dado que esta se deriva de gran cantidad de actividades que se realizan por parte

de la comunidad académica, especialmente de las vitales como lo son la alimentación y la deposición de las necesidades fisiológicas.

Para la determinación de las emisiones derivadas de esta actividad, se tomaron en cuenta el volumen y la densidad de los residuos sólidos de la facultad, indicados en la factura de aseo de la sede, los cuales son de 30,56 m^3 para cada bimestre (siendo un total de 122,24 m^3 para el año 2019, teniendo en cuenta que la facultad permaneció inactiva durante aproximadamente 4 meses, tanto por vacaciones estudiantiles como por irregularidades en la normalidad académica) y 0,25 ton/m^3 respectivamente. Con base a estos valores se calculó la cantidad, en kilogramos, de residuos sólidos generados para el año 2019, arrojando un valor de 30.560 Kg de Residuos sólidos (RS), cuya caracterización es la siguiente:

Tabla 19. *Caracterización de los residuos sólidos de FAMARENA - Sede Vivero para el año 2019.*

TIPO DE RESIDUO	CANTIDAD	
	KG	%
Papel (Archivo, periódico)	610	2,0
Cartón (cartón, plegadizo, tetra pack)	609	2,0
Plástico (PET, tatuco, polietileno)	425	1,4
Vidrio	136	0,4
Chatarra	224	0,7
Metales (Aluminio, cobre y acero)	30	0,1
No reciclables (orgánicos y otros)	28526	93,3
TOTAL	**30560**	**100,0**

Al contar con la cantidad de residuos sólidos generada para el año 2019, se usó el factor de emisión indicado por el IPCC (2007) para vertederos controlados, siendo este 12,83 Kg CO_2/Kg RS (Citado en Carrasco Leal 2015, pág. 15); el cual, multiplicado por la cantidad de residuos sólidos no reciclables generada en el año de estudio, por medio de la ecuación Nº 8 presentada en la metodología, arrojó un valor de **365,99 toneladas (ton) de CO_2 eq.**

CONSUMO DE PAPEL

Para la determinación de las emisiones de CO_2 equivalente derivadas del consumo de papelería en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero se tomó en cuenta el registro de residuos reciclables llevado a cabo por la Oficina Asesora de Planeación y control del Sistema de Gestión Ambiental, en donde se presenta un valor de 610 kilogramos de papel consumidos para el año 2019. Dicho valor se multiplicó por el factor de emisión indicado por la compañía Auchan Retail, (2019, pág. 14) para el papel virgen o papel blanco (0,939 Kg CO_2 e. /Kg) y con ayuda de la ecuación Nº 9 presentada en la metodología, se obtuvo un valor de 572,79 Kg CO_2 eq o **0,572 toneladas (ton) de CO_2 eq.**

CONSUMO DE ENERGÍA

El consumo de energía eléctrica está inmerso en gran parte de las actividades de la comunidad universitaria, ya sea para el uso y carga de dispositivos electrónicos, como computadores, laptops, celulares, video beams, tableros electrónicos, entre otros; o tan siquiera para el funcionamiento de la iluminación en los salones de clase, por lo cual, esta fuente es una de las más relevantes a la hora de medir la huella de carbono de la facultad.

Para la determinación de las emisiones asociadas a esta actividad se tomó en cuenta el consumo de energía de la sede para el año 2019, el cual, como se puede apreciar en la siguiente tabla, fue de 347.965 KWh:

Tabla 20. *Consumo de energía de la FAMARENA Naturales - Sede Vivero para el año 2019*

MES	VIVERO	CARPINTERIA
	KWh	***KWh***
Enero	17400	760
Febrero	28800	1000
Marzo	30300	1600
Abril	24800	1480
Mayo	30325	1400
Junio	34800	14440
Julio	27300	1240
Agosto	26200	1200
Septiembre	32400	1480
Octubre	25800	1400
Noviembre	23700	1640
Diciembre	17100	1400
Sumatoria	*318925*	*29040*
TOTAL	**347965 KWh**	

Este valor, reemplazado en la ecuación Nº 10 mencionada en la metodología, arrojó un valor de **80,03 toneladas (ton) de CO_2 eq.**

EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTE

De los anteriores datos obtenidos, se consolida la siguiente tabla, donde se mencionan las emisiones en CO_2 equivalente para los 4 componentes identificados como fuente de emisión en la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero, con sus correspondientes alcances y los datos pertinentes de la actividad asociada a cada fuente.

Tabla 21. Emisiones generadas en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la UDFJC por componentes.

Fuente de emisión	Alcance	Datos de la actividad		Emisiones de CO2 equivalente (Ton CO2 eq.)
		Valor	Unidad	
Consumo de combustible derivado de las prácticas académicas.	3[1]	42.660,7	Kilómetros recorridos	35,32
		3.397,46	Galones consumidos	
Generación de residuos sólidos		30.560	Kilogramos de residuos generados	365,99

[1] Otras emisiones y remociones indirectas de GEI (las producidas fuera de los límites físicos de la organización, pero que derivan de sus actividades).

Consumo de papel.		610	Kilogramos de papel consumidos	0,57
Consumo de energía.	2[2]	347.965	KWh consumidos	80,03

REMOCIÓN DE GEI

Según el Informe de Actualización del inventario forestal en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, realizado en el año 2016 por la Oficina Asesora de Planeación y control del Sistema de Gestión Ambiental, en el campus de la sede Vivero se registran 83 especies forestales, representadas en árboles, arbolitos, arbustos y palmas, distribuidas en un total de 1.038 individuos; la especie que tiene mayor representación en el área del campus es la Acacia negra con 277 individuos, seguida del Pino Candelabro con 122 individuos, y el Urapan y el Eucalipto común con 75 y 56 individuos respectivamente.

El inventario forestal brinda los datos de distribución diamétrica y altimétrica de todos los individuos presentes en la zona de estudio, y mediante la bibliografía recomendada por Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, & Álvarez (2011) se determinó la densidad de la madera da cada especie vegetal (ver anexo 4), con el fin de considerar los anteriores datos y a través de una ecuación alométrica, en un método indirecto, obtener la biomasa aérea de los individuos y la cantidad de carbono que es almacenado según lo definido por los anteriores autores. Sin embargo, cabe recalcarse que no se cuenta con el registro de la edad de los arboles ni de su crecimiento.

Los árboles son excelentes contenedores de CO_2 a largo plazo según Kuhns (2007), ya que lo almacenan en sus partes leñosas durante décadas e incluso siglos, dependiendo de la longevidad de cada especie. El CO_2 que es capturado durante su crecimiento pasa a ser parte la biomasa del árbol en un porcentaje entre 48 y 52%, concentrándose especialmente en las partes leñosas, como el tronco, las ramas y las raíces (Silva, 2005). Sin embargo, como afirman Vargas & Molina (2014), la captura de CO_2 por parte de los arboles solo se lleva a cabo durante su crecimiento y desarrollo, y por lo tanto, cuando la cobertura arbórea llega a su madurez la fijación de CO_2 se reduce casi a cero.

Teniendo en cuenta lo anterior, para determinar la remoción de GEI en el campus de la facultad por parte de la cobertura vegetal, es necesario conocer la edad en la que se encuentra cada individuo arbóreo e identificar los individuos que fueron sembrados en los últimos años debido a que, como se mencionó anteriormente, la tasa de secuestro de CO_2 se estabiliza y se vuelve casi nula cuando los individuos vegetales alcanzan su madurez (McPherson & Simpson, 1999), por lo que surge la necesidad de incluir la siembra de nuevos individuos, con la finalidad de que se conviertan en una cobertura vegetal que funcione como un sumidero activo (Vargas & Molina , 2014).

Adicionalmente, es importante tener en cuenta el número de podas frecuentes que se realizan en el campus universitario en algunos individuos arbóreos con el fin de limitar su altura y su tamaño de copa, además de retirar las hojas secas, debido a que esta actividad se cuenta como pérdida de carbono dentro de la biomasa aérea (Dirección General de Alimentación y Fomento Agroalimentario, 2013). Agudo, Muñoz & del Pino (2005) determinan que dentro de un inventario forestal, las pérdidas del carbono contenido o fijado son causadas por las podas que se realizan y por la mortalidad, ya que

[2] Emisiones indirectas de GEI por consumo de electricidad de origen externo.

se extrae una parte de la biomasa presente. De esta manera, SODEAN (2003) determinó por ejemplo, que el árbol de Olivo puede tener pérdidas por poda de 0.69 ton C/h año.

Con base a lo anteriormente mencionado, se decidió no tener en cuenta las remociones de GEI por parte de la cobertura vegetal en el campus de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero, al no poseer los datos necesarios para estimar la cantidad de carbono que realmente fue fijado en el periodo de tiempo de estudio (año 2019), y se deja abierta la posibilidad para complementar la información con la que ya se cuenta y determinar realmente el carbono capturado anualmente en el área de estudio.

INCERTIDUMBRE Y CALIDAD DE LOS DATOS

La incertidumbre cuantitativa asociada al conjunto de datos de consumo de energía se determinó de acuerdo a la metodología dada por la guía ISO/IEC GUIDE 98-3 "Uncertainty of measurement", en su parte tres. Para reducir el margen de error de los datos, estos se dividieron en grupos de meses de acuerdo a su consumo (alto consumo, bajo consumo y meses de vacaciones estudiantiles); los meses de alta actividad para los edificios edificio natura, administrativos y laboratorios (vivero) se considera para el periodo de estudio fueron: Febrero, Marzo, Mayo, Junio y Septiembre; mientras los de baja actividad fueron Abril, Julio, Agosto, Octubre y Noviembre; y el periodo de vacaciones estudiantiles correspondió a los meses de Enero y Diciembre. Por otro lado, en la carpintería solo se consideraron meses de alta actividad y baja actividad, los primeros están conformados por Marzo, Abril, Mayo, Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre, y los últimos por Enero, Febrero, Julio, Agosto y Diciembre.

En primera medida se halló la media aritmética para cada conjunto de datos de acuerdo a la ecuación 14 presentada en la metodología, dando como resultado los valores indicados en la tabla 22; a continuación, se procedió a determinar la desviación estándar según la ecuación 15, obteniendo los resultados consignados en la tabla referida anteriormente; posteriormente; con estas variables estadísticas y a un intervalo de confianza de 95% se determinó, de acuerdo a la ecuación 16, la incertidumbre de los datos asociados a los a los edificios correspondientes a la facultad y a la carpintería tanto en meses de alta actividad, en los de baja actividad y vacaciones (valores consignados en la tabla 22); Por último, a partir de la ecuación 17 fue posible determinar que la incertidumbre global para el consumo de energía en el periodo de tiempo del año 2019 corresponde a un valor de 16,60%.

Tabla 22. *Incertidumbre del conjunto de datos de energía*

Criterios		**Vivero**	**Carpintería**
Meses alta actividad	Media aritmética	31325	1492
	Desviación	2326,88	94,063
	Incertidumbre	**14,56%**	**12,35%**
Meses baja actividad	Media aritmética	25560	1120
	Desviación	1372,22	246,57
	Incertidumbre	**10,52%**	**43,15%**
Vacaciones	Media aritmética	17250	-
	Desviación	212,13	-
	Incertidumbre	**2,41%**	-
Incertidumbre global		9,16%	55,50%
		16,60%	

Respecto a la calidad de los datos, como se indicó en la metodología, se realizó con base a lo consignado en la Guía de la Huella Ambiental de Productos y Organizaciones de la Unión Europea (2013), de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 23. *Criterios de calidad de los datos.*

Conjunto de datos	Criterio	Puntuación	Observación
Consumo de combustible por prácticas académicas	Integralidad	3	Se considera que aunque cubre de manera adecuada la fuente de emisión, se podría mejorar al contar con los datos referentes al tipo de combustible que usan y la capacidad de los automóviles contratados.
	Idoneidad y coherencia	2	Los datos son asertivos con respecto al fin que se les pretende dar.
	Representatividad temporal	1	Los datos son los respectivos al año 2019.
	Representatividad tecnológica	1	Los datos corresponden a las prácticas académicas realizadas por los proyectos curriculares de la facultad en estudio.
	Representatividad geográfica	1	Los datos corresponden a los de la facultad en cuestión y cubren sus límites geográficos.
	Incertidumbre	3	Los consumos fueron estimados a partir de la información brindada por la decanatura de la facultad.
Consumo de papel	Integralidad	3	Los datos hacen referencia a los residuos de papelería de la facultad, lo cual está estrictamente relacionado con el consumo de papelería de la misma; sin embrago, sería recomendable manejar los datos referentes a la cantidad de resmas e insumos de papelería obtenidos para el año de estudio.
	Idoneidad y coherencia	2	Los datos son asertivos con respecto al fin que se les pretende dar.
	Representatividad temporal	1	Los datos son los respectivos al año 2019.
	Representatividad tecnológica	1	Los datos corresponden a los residuos de papelería de la facultad, lo que se relaciona con el consumo de papel en la misma.
	Representatividad geográfica	1	Los datos corresponden a los de la facultad en cuestión y cubren sus límites geográficos.
	Incertidumbre	3	Los datos fueron obtenidos de la Oficina Asesora de Planeación y control del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad.
Consumo de energía	Integralidad	1	Los datos cubren la fuente de emisión.
	Idoneidad y coherencia	1	Los datos son asertivos con respecto al fin que se les pretende dar.
	Representatividad temporal	1	Los datos corresponden al año 2019.

	Representatividad tecnológica	1	Los datos corresponden al consumo de energía de la facultad.
	Representatividad geográfica	1	Los datos corresponden a los de la facultad en cuestión y cubren sus límites geográficos.
	Incertidumbre	2	Los datos fueron obtenidos de la Oficina Asesora de Planeación y control del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad.
Generación de residuos sólidos	Integralidad	3	Los datos fueron estimados de las facturas de aseo de la facultad, lo cual está estrictamente relacionado con la generación de residuos sólidos en la misma; sin embrago, se recomendaría realizar un muestreo de los residuos sólidos generados.
	Idoneidad y coherencia	2	Los datos son asertivos con respecto al fin que se les pretende dar.
	Representatividad temporal	1	Los datos corresponden a las facturas de aseo del año 2019.
	Representatividad tecnológica	1	Los datos corresponden a las facturas de aseo de la facultad, lo que está estrictamente ligado con la generación de residuos dentro de la misma.
	Representatividad geográfica	1	Los datos corresponden a los de la facultad en cuestión y cubren sus límites geográficos.
	Incertidumbre	3	Los datos fueron estimados de las facturas de aseo brindadas por la Oficina Asesora de Planeación y control del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad.

Posteriormente, con la puntuación obtenida para cada criterio, se determinó la calidad global para cada conjunto de datos por medio de la ecuación número 18 presentada en la metodología, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 24. *Calidad global de los datos*

Conjunto de datos	Calidad global	Nivel de calidad
Consumo de combustible por prácticas académicas	1,8	Muy buena
Consumo de papel	1,8	Muy buena
Consumo de energía	1,2	Excelente
Generación de residuos sólidos	1,8	Muy buena

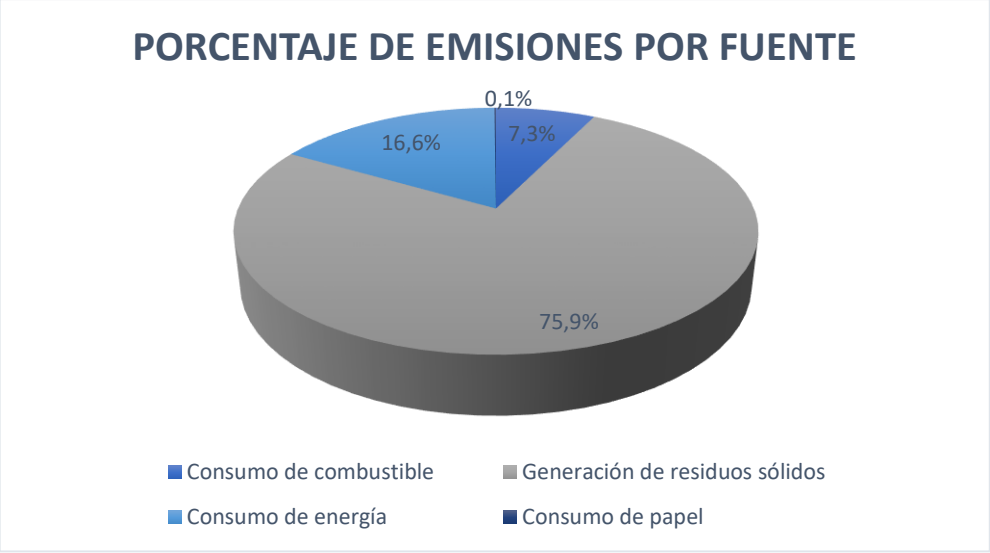
HUELLA DE CARBONO

Luego de obtener las emisiones de CO_2 equivalente referentes a cada fuente de emisión identificada, se procedió a calcular la huella de carbono total para la Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales – Sede vivero de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas para el año 2019, usando la ecuación número 19 presentada en la metodología, de la cual se obtuvo un valor de **481,92 toneladas de CO_2 eq**.

Tabla 25. *Huella de carbono total de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (FAMARENA) - Sede Vivero para el año 2019.*

Fuente de emisión	**Emisiones de CO2 equivalente**	
	Ton CO2 eq.	**Porcentaje de la Huella de carbono total**
Consumo de combustible derivado de las prácticas académicas.	35,32	7,3
Generación de residuos sólidos.	365,99	75,9
Consumo de papel.	0,57	0,1
Consumo de energía.	80,03	16,6
HUELLA DE CARBONO TOTAL	**481,92**	**100**

De la anterior tabla, se puede evidenciar que más del 70% de las emisiones que componen la huella de carbono de la facultad corresponden a las procedentes de la generación de residuos sólidos, seguidas por las derivadas del consumo de energía eléctrica y de combustible durante las practicas académicas, y por último, con menos del 1%, se encuentran las generadas por el consumo de papel. Dicho lo anterior, las estrategias que serán propuestas se sugiere estén enfocadas en su mayoría a la reducción de la generación de residuos sólidos, así como el uso eficiente de energía eléctrica y consumo de combustible.



Gráfica 1. *Participación de los diferentes componentes de la huella de carbono*

De esta distribución se podría afirmar que gran parte de la huella de carbono de la facultad se debe a la generación de residuos sólidos, esto debido a que los últimos se generan todos los días, y al ser un gran número de personas las que frecuentan la universidad (su población estudiantil para el año 2019 fue de 5.424 estudiantes de acuerdo con la Coordinación General de Autoevaluación y Acreditación de la Universidad (2019, pág. 112)) se tiende a generar un gran volumen de material que será dispuesto finalmente en el relleno sanitario, en donde se producen y emiten a la atmósfera gases como el metano y el dióxido de carbono, los cuales contribuyen al aumento de la temperatura y el cambio climático (Osorio Cifuentes, y otros, 2019, pág. 12), además de que el relleno sanitario Doña Juana, en el cual se disponen los residuos de la ciudad, presenta grandes impactos ambientales negativos, particularmente por efecto de los lixiviados y la producción de gases efecto invernadero (Anzola Parra, 2015, pág. 15).

Dicho lo anterior, se considera pertinente la implementación de estrategias enmarcadas en la gestión sostenible e integrada de los residuos sólidos, en la cual, de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (2016, pág. 26) se presenta la siguiente jerarquía de los residuos:



***Ilustración 9**. Jerarquía de los Residuos Sólidos. **Fuente**: (Departamento Nacional de Planeación, 2016, pág. 26)*

Dicha jerarquía plantea que, como primera instancia para realizar un manejo adecuado de los residuos sólidos se debe realizar la separación en la fuente, por medio de la cual se puede prevenir que gran cantidad de residuos que tienen un carácter aprovechable sean desperdiciados; luego va la recolección, transferencia y aprovechamiento, en donde las 3R juegan un papel esencial (reducir, reutilizar y reciclar [aprovechar]); finalmente encontramos el tratamiento y la disposición final, en donde el ideal sería que llegasen a disposición final la menor cantidad de residuos posibles, para poder reducir los impactos ambientales asociados a esta actividad.

Por otro lado, respecto a la energía eléctrica, si bien el Ministerio de Minas y Energía (2015) menciona que la energía eléctrica del país proviene entre un 64% y un 70% de recursos hidráulicos, se puede afirmar que esta no es en su totalidad una energía limpia, ya que el 30% restante proviene en su mayoría de recursos térmicos (y en un 5,5% de menores generadores y cogeneradores), por lo cual genera en cierta proporción emisiones de GEI; por lo anterior, se consideró el factor de emisión calculado por la UPME, ya que el propuesto por la IPCC no se ajusta al modelo energético del país.

Adicionalmente, si se evalúan los factores de emisión (presentados en la tabla número 10, en la metodología), se puede evidenciar que los más altos son los del consumo de combustible y generación de residuos sólidos, siendo estos de 74.100 Kg CO_2 eq./TJ y 12,83 Kg CO_2 eq./KG RS respectivamente; sin embargo, la energía asociada al consumo de energía fue de 476.714,36 MJ/año, es decir tan sólo

0,48 TJ/año, mientras que la cantidad de residuos sólidos generados fue de 30.560 kilogramos, por lo cual se genera una mayor huella de carbono para esta última actividad.

Respecto a las emisiones derivadas del consumo de combustible, esta fuente aumentaría considerablemente si se evaluase dentro de la huella de carbono calculada en el presente trabajo las emisiones derivadas de la movilidad de la comunidad académica para llegar a la facultad, ya que son cerca de 3800 personas movilizándose hacia el campus, ya sea en vehículo privado o en transporte público; sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, al no poseer la universidad control directo sobre dicha movilidad, no se tomó en cuenta este factor, ya que no será posible establecer una estrategia que pueda desarrollarse y monitorearse para reducir sus emisiones.

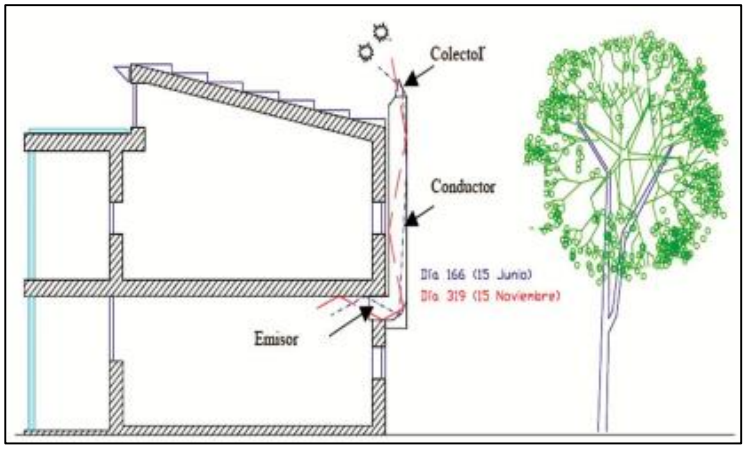
El consumo de combustible que interviene en la huella de carbono de la facultad se considera que es el utilizado únicamente para el abastecimiento de la flota automotriz encargada de transportar a los estudiantes y docentes en las prácticas académicas. Se estima que el 100% de los vehículos contratados (buses y microbuses) utilizan diésel como combustible, por lo que teniendo en cuenta que su poder calorífico es mayor al de otros combustibles, 128,69 MJ/gal, al igual que su rendimiento, se considera que el consumo sería mayor si se utilizará otro tipo de combustible, como por ejemplo gasolina, y por lo tanto, la huella de carbono para este componente también se aumentaría. Con las estrategias a formular se busca reducir aún más el consumo de combustible actual con acciones que puedan ser aplicadas al contexto de la universidad.

Por último, con respecto al consumo de papelería, aunque su participación en las emisiones de GEI y en la huella de carbono es mínimo, se considera que su utilización al año (610 kilogramos) es alta, teniendo en cuenta las herramientas virtuales ya existentes y las medidas formuladas y promulgadas por varias organizaciones, que permiten reducir su uso. De acuerdo a lo anterior, se busca formular acciones que tengan en cuenta las herramientas y medidas ya existentes, para reducir lo más posible el consumo.

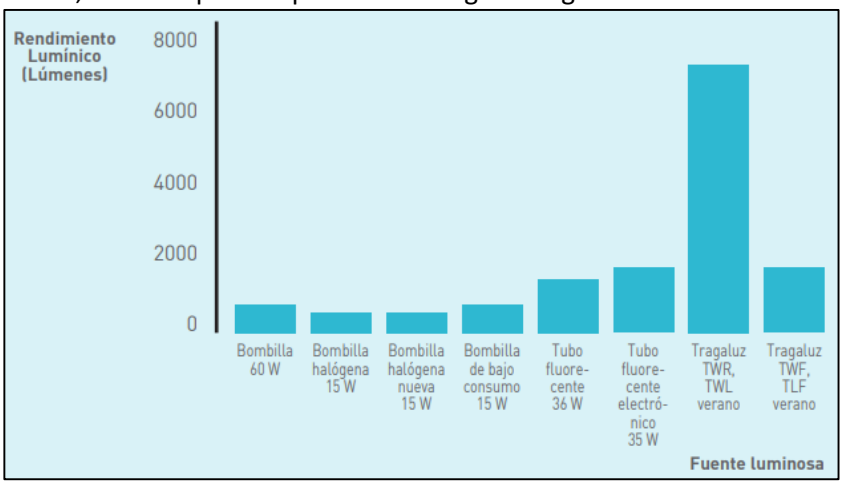
IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REDUCCIÓN

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE ENERGÍA

FICHA 1 APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL: INSTALACIÓN DE TUNELES SOLARES		FECHA	2020
		CODIGO	HC_EE1
FUENTE EMISORA	Consumo de energía eléctrica – Alcance 2		
HUELLA DE CARBONO	80,03 Ton CO_2 eq.		
JUSTIFICACIÓN			
Algunos de los salones y oficinas de la facultad no reciben directamente la luz del sol, o la reciben en muy poca cantidad, por lo cual deben mantenerse las luminarias encendidas incluso cuando la luz natural se encuentra al máximo. Dicho esto, se consideró conveniente evaluar la implementación de herramientas para aprovechar al máximo el recurso lumínico natural y reducir el consumo de energía eléctrica en la facultad.			
ACCIÓN	DESCRIPCIÓN		

Instalación de túneles solares	La luz natural en un recinto puede entrar de manera directa o indirecta; la primera presenta el inconveniente de generar posibles riesgos de deslumbramiento y su repartición luminosa en el espacio es muy irregular debido a la dinámica propia de la luz natural; sin embargo, existen herramientas arquitectónicas enfocadas al aprovechamiento adecuado de dicha fuente de luz (Ministerio de Obras Públicas, sf). Una de estas herramientas son los túneles solares, los cuales de acuerdo con el autor Piérola San Miguel (2012, pág. 74), son sistemas utilizados cuando un recinto o local no tiene posibilidades de recibir la luz natural porque no tiene ningún muro expuesto al exterior o se considera que ingresa insuficiente luz natural. Este se compone de tres partes: un captador de luz solar o domo, un conductor de luz solar y un emisor de luz al interior del local o recinto a iluminar.  ***Ilustración 10**. Túnel solar. **Fuente:** (Piérola San Miguel, 2012, pág. 74)*  ***Ilustraciones 11, 12 y 13.** Domos de túneles solares. **Fuente:** (SKYDOM, 2020), (Pardo Cifuentes, 2016) y (CHATRON, 2020) respectivamente.*  ***Ilustración 14**. Difusor. **Fuente:** (Pardo Cifuentes, 2016)* Estos túneles solares, también llamados “tragaluz”, de acuerdo con la empresa VELUX (2019) presentan su eficiencia dependiendo de su composición, en donde el túnel rígido (TWR) proporciona hasta 6 veces más luz que el túnel flexible (TWF),

sin embargo, estos pueden llegar a ser mucho más eficientes que las bombillas comerciales, como se puede apreciar en la siguiente gráfica:



***Gráfica 2**. Eficiencia de los túneles solares Vs luminarias comerciales. **Fuente**: (VELUX, 2019)*

Estos dispositivos pueden ser obtenidos en el mercado a través de algunas empresas extranjeras como Chatron (Portugal), Velux, greentrends (Perú) y su precio se encuentre entre 178 y 258 euros ($78200 a $1233000) y su vida útil garantizada es de 5 años.



***Ilustración 15**. Túnel solar – construcción e instalación. **Fuente:** (Pardo Cifuentes, 2016)*

En ese orden de ideas se propone la instalación de túneles solares para el auditorio y el laboratorio de microbiología de la facultad, siendo estos los lugares con mayor deficiencia de energía natural en la misma.

PRESUPUESTO ESTIMADO

Para la construcción de los túneles solares se estimó el siguiente presupuesto:

***Tabla 26.** Presupuesto estimado para la estrategia HC_EE1.*

Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos humanos				
Ingeniero civil	$ 2.000.000	Salario/mes	1	$ 2.000.000
Auxiliar	$ 1.000.000	Salario/mes	1	$ 1.000.000
Recursos materiales				
Tubo solar	$800.000	Unidad	4	$ 4.000.000
Costos de envío (Chile)	$1.798.000	Envío	1	$1.798000
TOTAL				$ 8.798.000

<table>
<tr><td colspan="2">FICHA 2
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DERIVADA DEL FLUJO DE PERSONAS: BALDOSAS PIEZOELECTRICAS</td><td>FECHA</td><td>2020</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>CODIGO</td><td>HC_EE2</td></tr>
<tr><td>FUENTE EMISORA</td><td colspan="3">Consumo de energía eléctrica – Alcance 2</td></tr>
<tr><td>HUELLA DE CARBONO</td><td colspan="3">80,03 Ton CO_2 eq.</td></tr>
<tr><td colspan="4">JUSTIFICACIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="4">La Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, al ser un centro educativo, presenta un flujo de personas importante, el cual se compone tanto de estudiantes, como de docentes y personal administrativo; estas consumen diariamente energía eléctrica para poder desarrollar sus actividades cotidianas de manera adecuada, por lo cual se consideró pertinente evaluar la posibilidad de aprovechar esta energía que podría ser generada por el flujo de la comunidad académica en las instalaciones del campus.</td></tr>
<tr><td>ACCIÓN</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN</td></tr>
<tr><td>Instalación de baldosas piezoeléctricas</td><td colspan="3">De acuerdo con García & Gonzales Alfaro (2015, pág. 14), el fenómeno piezoeléctrico se produce en determinados sistemas cristalinos y consiste en la aparición de una cierta carga eléctrica cuando el cristal es sometido a algún tipo de deformación. Los materiales piezoeléctricos pueden convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas.

Dicho autor también menciona que uno de los ejemplos más comunes de materiales piezoeléctricos es el cuarzo, este está compuesto de átomos de silicio y oxígeno en un patrón repetitivo; el silicio posee una carga positiva, mientras que el oxígeno una carga negativa, normalmente, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal, pero cuando este se somete a una presión, el orden de los átomos cambia ligeramente, generando una diferencia de potencial. Cuando se hace un circuito que conecta los extremos del cristal, se puede utilizar esta diferencia de potencial para producir corriente, siendo este el principio de la energía piezoeléctrica.

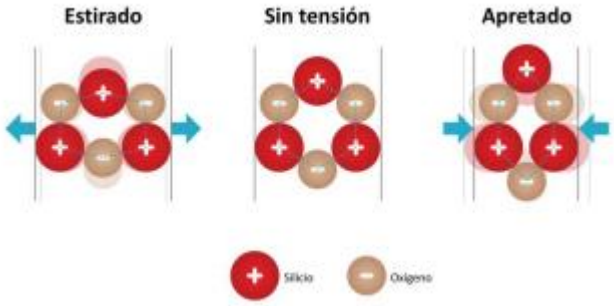


Ilustración 16. Fenómeno piezoeléctrico. Fuente: (García & Gonzales Alfaro, 2015, pág. 15)

Uno de los inventos más útiles basados en este efecto son las baldosas piezoeléctricas, las cuales generan energía eléctrica a partir de la presión ejercida por el flujo de personas en un lugar específico, dentro de las empresas pioneras en este tema encontramos a Pavegen ubicada en Reino Unido e Innowattech ubicada en Israel, estas organizaciones crearon unas losas capaces de transformar la energía producida por la presión que se ejerce sobre ellas al momento de ser comprimidas en electricidad apta para alimentar las redes de</td></tr>
</table>

	alumbrado público y establecimiento (Construdata, 2013) citado por (Agatón Aguirre, 2014, pág. 5). Este autor menciona además que las baldosas fabricadas por Pavegen Systems empresa inglesa lanzada en 2009 por Laurence Kemball-Cook, tienen un tamaño de 45 x 60 centímetros y están pensadas para zonas en las que se concentra un flujo de personas significativo, como estaciones de metro, aeropuertos, colegios y centros comerciales; en promedio, por cada paso la losa produce 8 watts.  ***Ilustración 17.*** *Baldosas Pavegen.* ***Fuente:*** *(Agatón Aguirre, 2014, pág. 5)* Según Pavagen, citada por Agatón Aguirre (2014), la superficie superior de las baldosas se produce con caucho reciclado, y más del 80% de la baldosa se produce con materiales reciclados, siendo una alternativa amigable con el medio ambiente, por medio de la cual se podrían reemplazar las baldosas convencionales. Estas baldosas, de acuerdo a Pavagen, tienen una vida útil de 20 millones de pisadas, lo que con un flujo de 2'206310 pasos por año se traducirían a una vida total de 9 años. Para el caso en particular de la facultad, con un flujo de 3'443.003 pisadas al año, presentan una vida útil de 6 años aproximadamente. Respecto al precio, de acuerdo con la revista Forbes, citada por Díaz Orjuela & Gómez Alba (2019, pág. 58), el precio por baldosa oscila entre los $75 y $160 dólares. Dicho lo anterior, se propone la implementación de 10 baldosas piezoeléctricas Pavegen en la entrada de la facultad, siendo este uno de los puntos más concurridos de la misma.

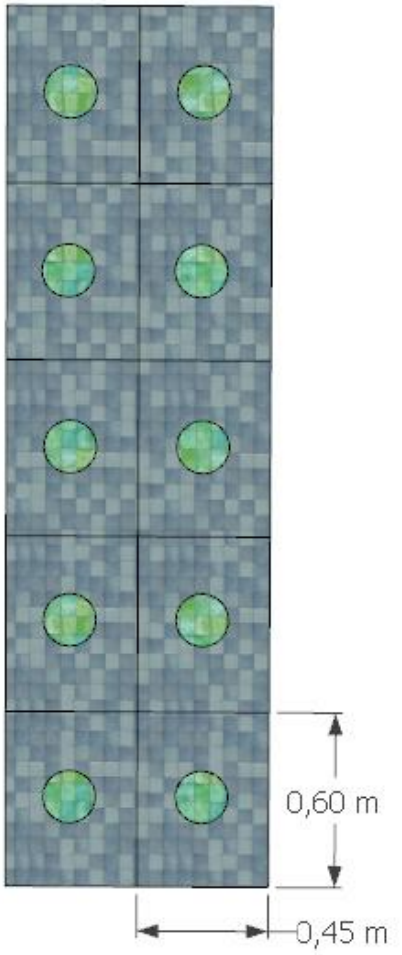


Ilustración 18. *Distribución de las baldosas piezoeléctricas Pavegen*

PRESUPUESTO ESTIMADO

Para la instalación de las 10 baldosas piezoeléctricas Pavegen se estimó el siguiente presupuesto:

Tabla 27. *Presupuesto estimado para la estrategia HC_EE2.*

Insumo	**Valor unitario**	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor total (pesos)**
Recursos humanos				
Ingeniero eléctrico	$ 2.000.000	Salario/mes	1	$ 2.000.000
Auxiliar	$ 1.000.000	Salario/mes	1	$ 1.000.000
Recursos materiales				
Baldosas Pavegen	$ 438.275	Pesos/baldosa	10	$ 4.382.750
TOTAL				$ 7.382.750

FICHA 3 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA	FECHA	2020
	CODIGO	HC_EE3

FUENTE EMISORA	Consumo de energía eléctrica – Alcance 2
HUELLA DE CARBONO	80,03 Ton CO_2 eq.

JUSTIFICACIÓN

Pilicita & Cevallos (2019) afirman que un proyecto fundamentado en la creación de un sistema de monitoreo del consumo energético, provoca la toma de conciencia de los altos consumos, y promueve el ahorro energético, desde un uso eficiente de la energía. Así mismo, López, Arias & Quintero (2016) determinaron que si los consumidores monitorean la cantidad de energía que están utilizando, estos se puede transformar en agentes activos capaces de tomar decisiones acertadas que, sustentadas en bases sólidas, permiten la optimización del consumo energético, y minimizan además, los recursos económicos que son destinados para tal fin.

Con esta estrategia se busca obtener datos periódicos de las diferentes dependencias o locaciones de la facultad, con el fin de encontrar cuales de estos lugares representan un mayor consumo, o en cuales periodos de tiempo puede provocarse también este aumento. Con el análisis de los datos reportados a partir de esta estrategia se busca por un lado, la creación de nuevas medidas focalizadas en los puntos y periodos de alto consumo, y por otro lado, la evaluación de la eficiencia de las medidas ya implementadas en el campus con respecto a la reducción de consumo eléctrico.

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Sistema de monitoreo continuo del consumo de energía eléctrica	De acuerdo a lo anteriormente dicho, se plantea la implementación de un sistema de monitoreo del consumo de energía eléctrica, el cual estará conformado por 10 dispositivos de medición ubicados en diferentes locaciones de la facultad, y un dispositivo de coordinación conectado a un computador especializado, que se encargará del procesamiento y visualización constante de los datos recogidos por los primeros dispositivos. Para conseguir la realización y la instalación del anterior sistema, se debe tener en cuenta que de acuerdo a Villalba & Rodríguez (2014) el monitoreo de consumo está conformado por la medición de la energía y el sistema de adquisición de datos, este último de acuerdo a los autores, consiste en "*tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en voltaje y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un computador*." Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que el sistema a diseñar e instalar contará con las siguientes etapas, de acuerdo a la investigación realizada por López, Arias & Quintero, en el año 2016: • Instrumentación: Se realiza la medición y el acondicionamiento de las señales de corriente y tensión, para calcular el voltaje consumido. • Procesamiento: En este paso, se tratan los datos que se obtienen de la anterior etapa, para que puedan ser entendibles por el usuario. En esta etapa, "*se procesa toda la información y se establece la comunicación con los diferentes dispositivos."* • Visualización: En esta última etapa, se diseña mediante diferentes mecanismos la visualización y la interfaz gráfica que permitirá al usuario obtener la información de consumo de energía eléctrica periódicamente.

De acuerdo al prototipo realizado por Pilicita & Cevallos (2019) en su proyecto de Innovación tecnológica para la instalación de un *"sistema integral para monitorear el consumo eléctrico",* el diseño del sistema de medición del consumo de energía eléctrica para la facultad de Medio Ambiente y Recursos Ambiente, sede Vivero, estaría conformado por:

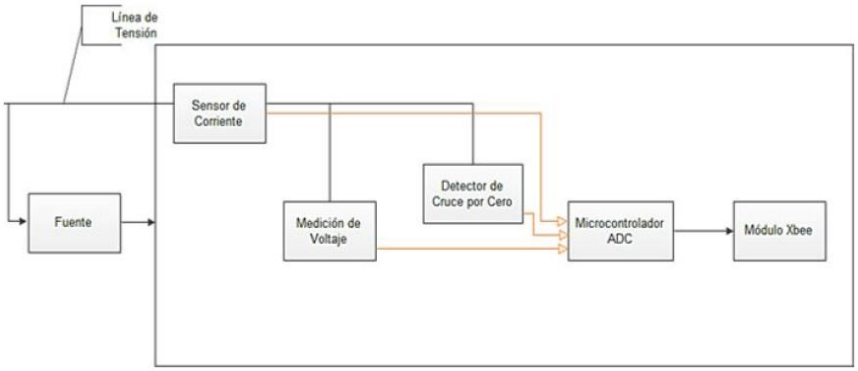


Ilustración 19. Diagrama de bloques del prototipo. Fuente: Pilicita & Cevallos (2019)

El primer componente de sistema, será un sensor de corriente HALL ACS712, elegido por su facilidad de uso, su bajo costo y el bajo rango de error que posee, el dispositivo entrega a la salida una magnitud de voltaje proporcional a la corriente consumida, con una sensibilidad de 0,1 [V/A]. El siguiente módulo del prototipo es la medición del voltaje, conformado por un divisor de voltaje, que estará encargado de medir el valor del voltaje real de la línea de tensión, debido a que aunque se conoce que el valor nominal de esta es de 110 V a una frecuencia de 60 Hz, por motivos de distribución eléctrica, este no se mantiene constante y no podría producirse un cálculo corrector del consumo a partir de este dato. Este módulo está conformado por dos resistencias que mediante una equivalencia del voltaje de 100 voltios AC a 1 voltio AC, transmiten una señal al microcontrolador de un valor proporcional al de la línea tensión (Pilicita & Cevallos, 2019).

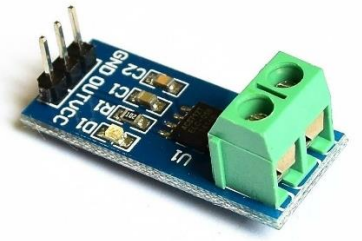


Ilustración 20*. Sensor de corriente HALL ACS712.* ***Fuente:*** *Wormtec, 2020*

El prototipo sugerido se compone también por un cruce por cero, cuya finalidad es detectar el inicio de un ciclo de señal y determinar cuáles son los valores de voltaje y corrientes que se deben multiplicar en un mismo ciclo. Para su montaje se requiere únicamente una resistencia de 5MΩ, sobre la línea de tensión e ingresar dicha señal al microcontrolador (Pilicita & Cevallos, 2019).

De acuerdo con López, Arias & Quintero (2016) el microntrolador es el encargado de procesar todas las señales enviadas y establecer comunicación con los dispositivos usados en el sistema, a partir de un programa y un protocolo de comunicación establecido. En este caso, mediante una conversión analógica digital el microcontrolador, a través del programa alojado en él, realiza un

muestreo de cada ciclo u onda y determina el valor pico. Dicho valor es obtenido en bits y según Pilicita & Cevallos (2019), debe ser convertido en valor RMS y promediado por minuto. Mediante el código ASCII, se realiza el control del flujo de la información, a la espera de que se establezca la comunicación para el envío de los datos. El modelo de microcontrolador elegido es el PIC 12F1840.

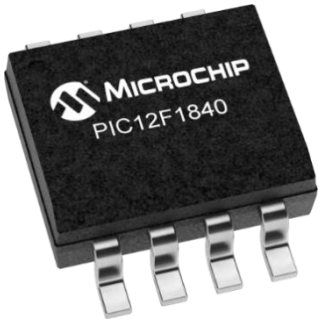


***Ilustración 21**. Microcontrolador PIC12F1840**. Fuente:** Microchip, s.f.*

Por último, en el dispositivo de medición se cuenta con un módulo Xbee, estos son pequeños radios que permiten la transmisión de información inalámbricamente; los Xbee Serie 2, de acuerdo a sus especificaciones pueden abarcar un área entre los 40 y 100 metros, por lo que fueron seleccionados en este caso. El módulo de cada dispositivo se encarga de recibir la información y transmitirla a un módulo Xbee coordinador. Este último se conecta a un explorador Xbee USB que realizará la comunicación a una computadora, que contará con la aplicación servidor donde serán procesados y almacenados todos los datos recogidos (Pilicita & Cevallos, 2019).

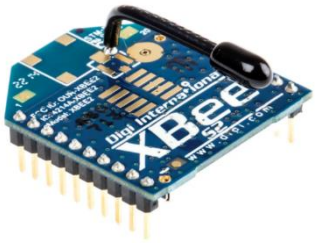


***Ilustración 22**. Módulo Xbee Serie 2. Ref.: XB24-Z7WIT-004. **Fuente:** RS, s.f.*

Adicionalmente, la fuente, ubicada al inicio del dispositivo, consiste en un transformador de 120V:12V en corriente alterna. De acuerdo a Pilicita & Cevallos (2019) esta señal se rectifica con un diodo limitador de voltaje de 3.6 [V] DC y un capacitor.

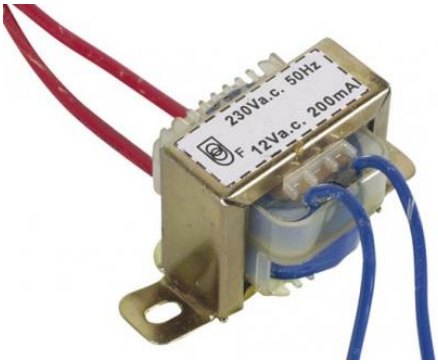
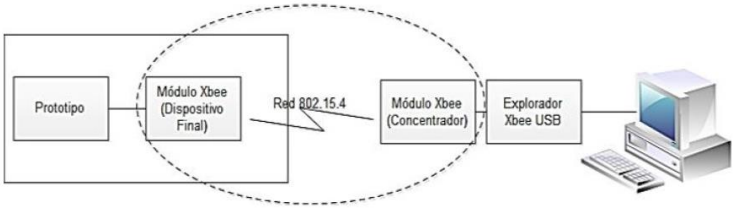


Ilustración 23. Transformador de 120V a 12V. Fuente: Eclats Antivols, 2020

	El protocolo de comunicación seleccionado es el Zigbee, la red inalámbrica estará conformada por 10 dispositivos de medición, cada uno con un módulo Xbee y un dispositivo central con un módulo Xbee coordinador, que como se nombró anteriormente, está conectado vía USB a un computador. Los datos recogidos por el módulo coordinador serán entregados al programa formulado, diseñado en recomendación con Pilicita & Cevallos (2019) en lenguaje Java.  *Ilustración 24. Diagrama de transmisión de datos. Fuente: Pilicita & Cevallos (2019)* El procesamiento de datos se hará en un programa, que como se nombró anteriormente, se formulará preferiblemente en Java, cuya función principal será procesar los datos conseguidos de consumo de eléctrico y almacenarlos en una base de datos MySQL. Por último, para la visualización de los datos de consumo por los usuarios se sugiere la creación de una aplicación web que permita la consulta continua de los datos, y de acuerdo a lo planteado por Pilicita & Cevallos (2019) se sugiere que su desarrollo sea en los lenguajes HTML y PHP. Para la realización e instalación del anterior prototipo se sugiere la contratación de un aspirante a ingeniero electrónico, vinculado con la universidad, que se encuentre en las facultades de realizar el diseño del sistema, sujeto a las modificaciones que se consideren pertinentes. Para el primer modelo de implementación, los lugares para la instalación de los dispositivos de medición se sugiere sean: cada piso del edificio Natura, cafetería, oficinas del edificio administrativo, Sala de sistemas, y Laboratorio Tecnologías limpias y Herbario.
PRESUPUESTO ESTIMADO	

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para el diseño del prototipo de medición, y la elaboración y la instalación del sistema de monitoreo del consumo de energía eléctrica.

Tabla 28. *Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE4*

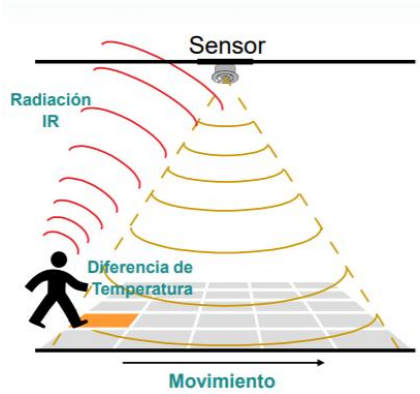
Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos humanos				
Ingeniero electrónico	$ 2.500.000	Salario/mes	1	$ 2.500.000
Auxiliar	$1.000.000	Salario/mes	1	$1.000.000
Recursos Materiales				
Sensor de corriente HALL AC712	$11.000	Unidad	11	$121.000
Resistencias	$100	Unidad	33	$3.300
Microcontrolador PIC12F1840	$ 4168	Unidad	10	$45848
Módulo Xbee Serie 2. Ref.: XB24-Z7WIT-004	$106.976	Unidad	10	$1.76.7360
Transformador	$27.000	Unidad	10	$297.000
Capacitor	$300	Unidad	10	$3.300
Diodo	$400	Unidad	10	$4.400
Módulo Xbee coordinador	$22.000	Unidad	1	$22.000
Computador	$2.000.000	Unidad	1	$2.00.000
Protoboard	$10.000	Unidad	1	$10.000
Montaje en PCB	$102.224	Unidad	10	$1.022.240
Alambre de cobre No 12 montaje	$1169	Metro	100	$116.900
Alambre de cobre Protoboard	$7.000	Unidad	1	$7.000
TOTAL				$8.222.748

FICHA 4 DISMINUCIÓN DE LAS HORAS DE CONSUMO ELECTRICO MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE SENSORES ELECTRICOS		FECHA	2020
		CODIGO	HC_EE4
FUENTE EMISORA	Consumo de energía eléctrica – Alcance 2		
HUELLA DE CARBONO	80,03 Ton CO_2 eq.		
JUSTIFICACIÓN			
De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. Department of Energy, 2014), una de las maneras más rápidas para reducir el consumo de energía eléctrica es la utilización de iluminación de alta eficiencia energética; en este caso, los temporizadores y sensores de movimiento y luz solar ahorran recursos energéticos y monetarios al reducir la cantidad de tiempo que las lucen están encendidas sin usar. Con esta estrategia se prevé la instalación de sensores de movimiento en diferentes locaciones de la universidad, con el fin de reducir las horas de iluminación, debido a que en estos no existe un flujo permanente de personas.			

<table>
<tr><td colspan="2">Adicionalmente, se pretende instalar sensores de luz natural en cada piso de la biblioteca de la sede, para aprovechar la mayor cantidad de luz solar y disminuir las horas y la intensidad de luz artificial que es utilizada, y con lo anterior conseguir una disminución en el consumo de energía eléctrica.</td></tr>
<tr><td>ACCIÓN</td><td>DESCRIPCIÓN</td></tr>
<tr><td>Disminución de las horas de consumo eléctrico mediante la instalación de sensores de movimiento</td><td>Los sensores de movimiento o detectores de presencia responden a la ausencia de personas en el local o recinto con el apagado del alumbrado artificial. Existen cuatro tipos de detectores de presencia (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia, 2001):

- Infrarrojos
- Acústicos por ultrasonidos
- Acústicos con microondas
- Híbridos de los dos anteriores.

El tipo de sensor utilizado para esta estrategia es infrarrojo pasivo (PIR), el cual a partir de rayos ultravioleta detecta la presencia humana. El sensor detecta cambios de temperatura por sectores, según estos es posible predecir el movimiento y determinar el encendido o apagado de las luminarias (Córcoles, 2015).


Ilustración 25. Diagrama funcionamiento sensor de movimiento PIR. Fuente: Córcoles, 2015

El objetivo de este tipo de sensor de acuerdo a Córcoles (2015) es encender luz cuando se detecta movimiento, mantenerla encendida mientras se siga detectando y apagarla después de un tiempo de no detección. Las ventajas que ofrecen este tipo de sensores son, además del ahorro de energía, el aumento de vida útil de las luminarias, y el confort debido a que no se requieren de interruptores.

Estos sensores de rayos pasivos (PIR) se activan ante determinadas fuentes de energía, como el cuerpo humano, captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el entorno. Este tipo de sensor usa un lente de Fresnal, que distribuye los rayos infrarrojos en diferentes radios, y cuando se da un cambio de temperatura en algunos de estos radios o zonas, se detecta el movimiento y se enciende la lámpara. Adicionalmente, estos sensores “permiten definir con precisión al 100% el área de cobertura requerida. Para que los sensores infrarrojos puedan operar correcta y eficazmente, su campo de visión debe estar libre de cualquier obstáculo” (Bticino, 2012).

De acuerdo a lo anterior, se plantea la instalación de varios de sensores de movimiento en la facultad, con el fin de conseguir una disminución en las horas de iluminación artificial, y por lo tanto, en el consumo de energía eléctrica. Se propone</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>
la instalación de sensores en las áreas comunes de la facultad, sin considerar salones, teniendo en cuenta la distribución de la tabla 29, debido a que se estima son los lugares con flujo de personas. El modelo de sensor elegido para la implementación se trata de un diseño de 360° con un alcance de detección máxima de 6 y una altura de instalación a 2,20 a 4 metros, y cuenta con una vida útil aproximada entre 26000-45000 horas (ELECTROPAR, 2019).

Tabla 29. Ubicación de los sensores de movimiento en la facultad.
<table>
<tr><th colspan="2">Ubicación</th><th>Cantidad de sensores de movimiento</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Edificio natura</td><td>Primer piso</td><td>6</td></tr>
<tr><td>Segundo piso</td><td>8</td></tr>
<tr><td>Tercer piso</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Cuarto piso</td><td>4</td></tr>
<tr><td>Quinto piso</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Terraza</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Baños</td><td>10</td></tr>
<tr><td>Biblioteca</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Cafetería</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Edificio administrativo</td><td>Primer piso</td><td>4</td></tr>
<tr><td>Segundo piso</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bienestar</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Laboratorios de Biología</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Laboratorios de Suelos</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Carpintería</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Gimnasio</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vivero</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Total</td><td>69</td></tr>
</table>
Nota: La distribución de los sensores se realizó teniendo en cuenta los planos arquitectónicos de las sede realizados por la Oficina Asesora de Planeación y Control en el año 2013.

Así mismo, Córdoba Lozano, Romero Sanabria & Rueda Fajardo, en el año 2016, mencionaron que anteriormente en la facultad se encontraban instalados varios sensores de movimiento (47) en distintos puntos del campus, pero debido a que se contaba únicamente con bombillos fluorescentes, y al no ser estos aptos para esta tecnología (ya que se afecta su ciclo de vida por la intermitencia), se vieron obligados a desactivarlos. De acuerdo a lo declarado, en miras de que la estrategia funcione correctamente y logre su objetivo, la instalación de los sensores de movimiento dependerá directamente de la renovación de las luminarias por bombillos LED (ficha HC_EE5).
</td></tr>
<tr><td>Disminución de las horas de consumo eléctrico mediante la instalación de sensores de luz solar</td><td>
El sensor de luz natural o solar se encarga de regular automáticamente el nivel e iluminación de un espacio en función al aporte de luz natural. Se pueden conseguir ahorros desde 20% hasta 70% y garantizan que no se disminuya el confort de los usuarios. Para su implementación es necesario la instalación adicional a los sensores de balastos regulables (Córcoles, 2015).

La luz natural puede aportar en la mejora de la eficiencia del sistema de iluminación cuando se combina con sistemas de regulación de luz artificial, como lo propuesto
</td></tr>
</table>

en este caso. Un sensor de luz natural es colocado habitualmente en el techo, mide la cantidad de luz natural que se recibe en el espacio debajo de él, en este caso las mesas de la biblioteca, y ajusta automáticamente la aportación de luz artificial que se requiere para la correcta realización de las tareas de que se llevan a cabo en el lugar, de acuerdo al nivel de luz natural que existe (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia, 2001).

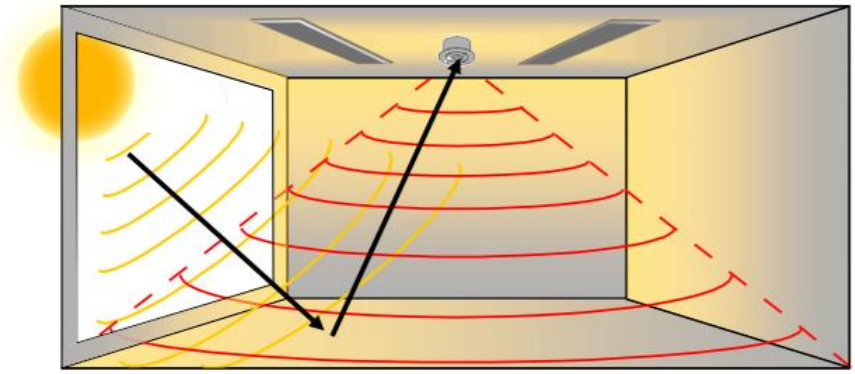


Ilustración 26. Diagrama de funcionamiento del sensor de luz. Fuente: Córcoles, 2015

A partir de las características anteriormente mencionadas, se sugiere la instalación de dos sensores de luz solar en los dos pisos de la biblioteca de la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, debido a que en las tardes el aporte de luz natural es alto y puede permitir la reducción del consumo energético mediante el control de la cantidad de luz artificial que brindan las luminarias. El modelo elegido tiene un diámetro de alcance de 7 metros con un ángulo de detección de 360 grados y una altura de montaje de 2,5 metros.

PRESUPUESTO ESTIMADO

A continuación se presenta el presupuesto estimado para la instalación de los sensores de luz natural y de movimiento:

Tabla 30. *Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE4*

Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos humanos				
Técnico electricista	$ 700.000	Salario/semana	3	$ 2.100.000
Recursos Materiales				
Sensor de movimiento Infrarrojo ST07 Techo 360°	$29.900	Unidad	69	$2.063.100
Sensor de luz natural DINUY R-DMS.001	$469.932	Unidad	2	$939.864
Balastros reguladores	$490.461	Unidad	2	$980.922
Alambre de cobre No 12 instalación (3 colores)	$1.183	Metro	500	$591.500
Canaleta plástica 32 x 22 mm	$3.795	Metro	69	$261.855
TOTAL				$6.937.241

<table>
<tr><td colspan="2">RENOVACIÓN DE LAS LUMINARIAS DE LA FACULTAD: CAMBIO A LUMINARIAS LED</td><td>CODIGO</td><td>HC_EE5</td></tr>
<tr><td>FUENTE EMISORA</td><td colspan="3">Consumo de energía eléctrica – Alcance 2</td></tr>
<tr><td>HUELLA DE CARBONO</td><td colspan="3">80,03 Ton CO_2 eq.</td></tr>
<tr><td colspan="4">JUSTIFICACIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="4">En vista de que las luminarias constituyen una parte importante del consumo eléctrico en la facultad (47,7% de acuerdo con Barreto Córdoba & Sandoval González , 2016), se consideró el cambio de los bombillos existentes por tecnología LED, teniendo en cuenta que estas últimas son más eficientes, tienen un rango de vida útil más alto y son amigables con el medio ambiente.</td></tr>
<tr><td>ACCIÓN</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN</td></tr>
<tr><td>Cambio de luminarias existentes a luminarias LED</td><td colspan="3">
“Un LED es un diodo emisor de luz y funciona con corriente directa, estas dispositivos producen un haz estrecho y direccional, a lo largo de los años se ha ido aumentando su aplicación y eficiencia, por lo que ahora se disponen dentro de un bulbo para tener un equivalente a las lámparas existentes y con temperaturas mayores a los 3000 K” (UNAM, 2009, pág. 13).

Dicho autor menciona además que sus principales ventajas son su bajo consumo energético, su poco calor generado (bajas pérdidas de energía en forma de calor), la facilidad a la hora de programarlos y controlarlos, su rápida respuesta de encendido y apagado y su larga vida útil (entre 6 y 7 años).

Adicionalmente Benjumea Mesa (2009, pág. 31) afirma que otras de sus ventajas son que no posee ni filamentos ni electrodos como lo hacen las lámparas incandescentes y de descarga, por lo cual no es susceptible a romperse o quemarse; sus componentes no son tóxicos, son reciclables; su espectro lumínico es mucho más nítido y brillante y la degradación de la intensidad de la luz en el transcurso de su vida útil es más lenta que en los halogenuros y las lámparas fluorescente.

Tabla 31. Vida promedio de las luminarias. Fuente: (Benjumea Mesa, 2009, pág. 22)
<table>
<tr><th>TIPO DE LAMPARA</th><th>VIDA PROMEDIO (Horas)</th></tr>
<tr><td>Incandescentes</td><td>1000</td></tr>
<tr><td>Halógenas</td><td>2000-4000</td></tr>
<tr><td>Fluorescentes</td><td>7500-12000</td></tr>
<tr><td>Mezcladores</td><td>9000</td></tr>
<tr><td>Mercurio a alta presión</td><td>25000</td></tr>
<tr><td>Haluros metálicos</td><td>11000</td></tr>
<tr><td>Sodio a baja presión</td><td>8000 - 12000</td></tr>
<tr><td>Sodio a alta presión</td><td>8000 - 12000</td></tr>
<tr><td>LED´s</td><td>>50000</td></tr>
</table>
Por su parte, Gutiérrez Hernández (2014, pág. 5) menciona que la iluminación LED se diferencia de las demás bombillas por consumir entre un 80% y 90% menos electricidad que una bombilla incandescente tradicional y un 65% menos que una bombilla de bajo consumo de tecnología fluorescente.

Así mismo, Sabogal Cruz (2015, pág. 7) realizó un diseño de iluminación LED para una vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá, comparándolo con iluminación halógena y fluorescente, en donde encontró que las luminarias LED presentaron un ahorro energético del 75% con
</td></tr>
</table>

respecto a la iluminación halógena y del 29% con respecto a la fluorescente. Adicionalmente, el autor menciona que a pesar de que su costo es más elevado con respecto a las demás luminarias, su promedio de vida útil se triplica y el consumo de electricidad se reduce entre un 50% y un 90%.

Respecto al sistema de iluminación de la facultad, de acuerdo con Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo (2016, pág. 92) y el sistema de se presentan un total de 3102 bombillas distribuidas de la siguiente manera:

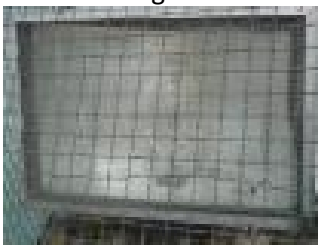
Tabla 32. *Inventario de luminarias de la FAMARENA - Sede Vivero.* ***Fuente:*** *(Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo, 2016, pág. 92)*

TIPO	Fluorescente compacta x2	Luminarias para exteriores	Fluorescentes empotradas x4	Fluorescente en tubo x2	Otras: Sodio de alta tensión (espiral), halógenas, entre otras.	LED
Total luminarias	373	15	492	105	53	110
Total de bombillos	746	15	1968	210		

En ese sentido, los tipos de luminarias y su reemplazo se presentan a continuación, teniéndose en cuenta que se plantea el reemplazo de las 2992 bombillas que no son de tipo LED:

Tabla 33. *Reemplazo de luminarias de la FAMARENA*

Luminaria Actual	Reemplazo LED
Fluorescente empotrada (x4 bombillos) 	LED en tubo de 9w 
Fluorescente compacto (x2 bombillos) 	Plafón LED 720 lúmenes – 12 W
Luminarias para exteriores	Reflector LED para exterior 20 W

	
Tubo fluorescente (x2 bombillas) 	Lámpara tubo gabinete LED 36W (x2 bombillas) 
Otros: Faros lámpara HID 	Luminaria LED alumbrado público 100 W 
Otro: compacto espiral 	Bombillo LED 20 W 
Otro: Reflector halogenuro metálico 	Reflector LED 200W 

PRESUPUESTO ESTIMADO

El presupuesto estimado para el reemplazo de las luminarias existentes de la facultad por luminarias LED fue el siguiente:

Tabla 34. *Presupuesto de la estrategia HC_EE5*

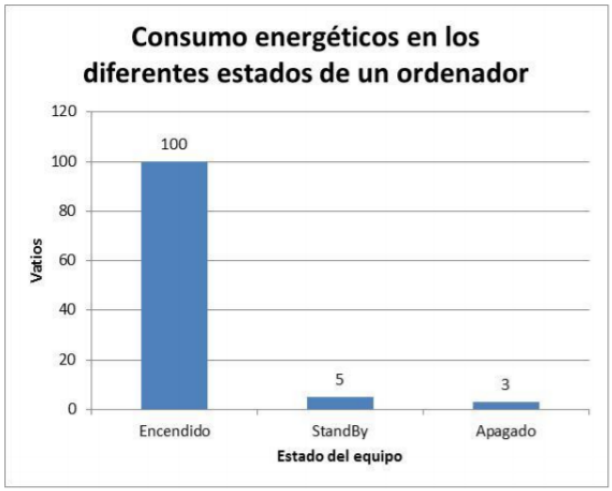
Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos humanos				
Técnico electricista	$ 2.000.000	Salario/mes	1	$ 2.000.000
Recursos materiales				
Tubo LED 9w	$ 9.900	Unidad	1968	$ 19.483.200
Plafón LED 12 w	$ 24.900	Unidad	373	$ 9.287.700
Reflector LED exterior 20W	$ 29.900	Unidad	15	$ 448.500
Lámpara gabinete en tubo LED 36W	$ 53.000	Unidad	105	$ 5.565.000
Luminaria LED alumbrado público 100W	$ 152.700	Unidad	19	$ 2.901.300
Bombilla LED 20W	$ 9.000	Unidad	30	$ 270.000
Reflector LED 200W	$ 164.000	Unidad	4	$ 656.000
TOTAL				$ 40.611.700

Nota: las cantidades de las bombillas fueron tomadas del trabajo realizado por (Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo, 2016) y de la información referente al inventario de luminarias de la sede Vivero para el año 2019 suministrada por la oficina del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de la universidad.

FICHA 6 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPOS DE COMPUTACIÓN: RESTRICCIÓN TIEMPO DE ENCENDIDO	FECHA	2020
	CODIGO	HC_EE6
FUENTE EMISORA	Consumo de energía eléctrica – Alcance 2	
HUELLA DE CARBONO	80,03 Ton CO_2 eq.	

JUSTIFICACIÓN

Se ha determinado que un ordenador gasta 95% menos de energía cuando este está en modo bajo consumo, y un 97% menos cuando este se encuentra apagado (Universitat d'Alacant). De acuerdo a lo anterior, se estima que si se establecen horarios de encendido y se apaga el equipo en los momentos donde no esté en uso durante el día, se podría tener un ahorro sustancial del consumo del recurso energético. Se prevé que este control del tiempo de encendido de los computadores se realice remotamente mediante el uso de programas informáticos, con el fin de que se realice el proceso sistemáticamente, garantizándose su eficiencia, y presentándose como una medida de comodidad para el administrador de la sala de sistemas de la facultad.



***Gráfica 3**. Consumo energético de los ordenadores. **Fuente:** Universitat d'Alacant*

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Eficiencia energética en equipos de computación: restricción tiempo de encendido	Se pretende mediante esta estrategia, como se dijo anteriormente, disminuir el consumo de la energía eléctrica a través de la reducción del tiempo en el que se mantienen encendidos los computadores en las cuatro salas de sistemas de la facultad. Se plantea aplicar controles de tiempo, los cuales pueden ser de tipo mecánico o eléctrico, y vigilar el encendido y apagado de los equipos en horarios establecidos durante periodos de tiempo, como días o semanas (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, 2012). De acuerdo con OptimaGrid, el hecho de apagar todas las noches los equipos puede suponer un ahorro del 10%, lo que permite suponer que apagar los computadores en un periodo determinado en el día puede suponer un ahorro mayor. Para la implementación de esta estrategia, se eligió el programa informático de Faronics Insight, cuya finalidad es la gestión de salas de informática simplificada, entre sus funciones se encuentra el control remoto de los todos los dispositivos informáticos desde un equipo central. Con este programa se pretende desde el equipo central de salas, de acuerdo a los horarios de uso de los computadores, apagar todos los equipos de una sala cuando existan periodos libres Adicionalmente, el software ofrece muchas más funciones que permiten mejorar la conectividad entre el profesor y los estudiantes, y que pueden ser de gran utilidad para el aprendizaje en los diferentes espacios académicos.  ***Ilustración 27**. Software Faronics Insight. Fuente: Faronics, s.f.*

PRESUPUESTO ESTIMADO
A continuación se presenta el presupuesto estimado para la implementación de esta estrategia, el cual consiste en la compra de la licencia de uso corporativo para un máximo de 99 unidades, con renovación anual (Faronics, s.f.).

__Tabla 35__. Presupuesto estimado de la estrategia HC_EE6

Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos Materiales				
Software Faronics Insight corporativo	$155.285	-	1	$155.285
TOTAL				$155.285

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

FICHA 7 CAMBIO DEL CÓDIGO DE COLORES PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	FECHA	2020
	CODIGO	HC_GR1
FUENTE EMISORA	Generación de residuos sólidos – Alcance 3	
HUELLA DE CARBONO	365,99 Ton CO_2 eq.	
JUSTIFICACIÓN		
Como se puede evidenciar en la tabla número 15, el porcentaje de residuos sólidos reciclables de la facultad corresponde a un 6,7% aproximadamente, siendo este un valor bajo, por lo cual se propone un cambio en el código de colores de las canecas dispuestas en el campus, en busca de aumentar el porcentaje de residuos reciclables y facilitar además la separación de los residuos orgánicos para su posterior aprovechamiento. Adicionalmente, esta estrategia se fundamenta en la resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual establece el código de colores para la separación de residuos a nivel nacional a partir del año 2021.		
ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	
Cambio del código de colores para la separación de residuos sólidos (canecas)	Actualmente, la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero, y en general, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuenta con el siguiente código de colores para las canecas de residuos sólidos:	



***Ilustración 28**. Código de colores actual para las canecas de residuos sólidos en la UDFJC. **Fuente:** (SGA, 2018).*

Aunque dicho código de colores favorece la sub separación de los residuos reciclables (papel y cartón de plástico, vidrio y metales), hace también que se mezclen los residuos orgánicos que podrían ser insumo para procesos como compostaje y lombricultura con los papeles y empaques contaminados con restos de comida, por lo cual se propone la adopción del código de colores establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:



***Ilustración 29.** Código de colores para la separación de residuos sólidos establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Fuente:** (Minambiente, 2019)*

El anterior código de colores, además de estar establecido por medio de la resolución número 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (que empezara a regir en el 2021), favorece, tal como se indica en la imagen, la separación de los residuos orgánicos aprovechables de los residuos aprovechables o reciclables y los residuos no aprovechables. Se propone realizar el cambio del total de 17 juegos de canecas (gris, blanco y verde por blanco verde y negro, correctamente rotuladas), las cuales están distribuidas de la siguiente manera: una en cada piso del edificio

natura (5), una en la biblioteca, una en las oficinas administrativas del segundo piso del edificio natura, dos en las afueras de la cafetería, una en la plazoleta principal, una frente a la entrada de decanatura, dos en su interior; una en las salas de computo, una en el camino hacia bienestar, una en bienestar institucional, una en la caseta de fotocopias (fotokio) y una en frente de la oficina del proyecto curricular de ingeniería ambiental.
Cabe mencionar que como el código actual posee una caneca blanca y una verde, se propone el reciclaje de las mismas, cambiándoles la rotulación a la correspondiente para el nuevo código.

Se propone además la implementación del panfleto de separación en la fuente (Ver anexo 2) en las zonas cercanas a las canecas, para facilitar la comprensión del proceso de separación en la fuente. Adicionalmente, se considera pertinente que se incorpore el tema de separación en la fuente dentro de la asignatura de cátedra Francisco José de Caldas (código 4), ya que esta es una de las asignaturas que todos los proyectos curriculares deben tomar obligatoriamente y se dicta en primer semestre; esta temática podría desarrollarse en una sesión de clase, explicándose a los estudiantes la manera en la que se deben separar los residuos adecuadamente (el panfleto se les puede enviar al correo institucional, entre otros recursos de apoyo virtuales), en busca de que se puedan aprovechar los mismos en mayor cantidad y se reduzcan los kilogramos de residuos que son dispuestos finalmente en el relleno sanitario y por ende la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos de la facultad. Se propone abordar los siguientes temas:

- Clasificación de los residuos sólidos.
- Separación en la fuente de residuos sólidos, ¿qué es?, ¿cuál es su importancia? Y ¿cómo se separa adecuadamente?
- Código de colores de las canecas para residuos sólidos de la facultad, resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

PRESUPUESTO ESTIMADO

El presupuesto estimado para el desarrollo de la presente estrategia fue el siguiente:

Tabla 36. *Presupuesto estimado de la estrategia HC_GR1*

Insumo	**Valor unitario**	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor total (pesos)**
Recursos materiales				
Canecas rotuladas	$ 53.900	Caneca	17	$ 916.300
Rótulos	$ 8.000	Rotulo	34	$ 272.000
Panfletos	$ 5.000	Unidad	17	$ 85.000
TOTAL				$ 1.273.300

FICHA 8 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA FACULTAD: COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA		FECHA	2020
		CODIGO	HC_GR2
FUENTE EMISORA	Generación de residuos sólidos – Alcance 3		
HUELLA DE CARBONO	365,99 Ton CO_2 eq.		
JUSTIFICACIÓN			
De acuerdo a la tabla número 15 la gran mayoría de los residuos sólidos generados en la facultad son de carácter orgánico, sin embargo estos son enviados al relleno sanitario para su disposición final en donde se genera la huella de carbono derivada de esta actividad, la cual podría ser reducida al implementarse sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos como el compostaje y la lombricultura.			
ACCIÓN	DESCRIPCIÓN		
Implementación de un sistema de compostaje	De acuerdo con los resultados obtenidos de la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos en la facultad, el 93,3% (28.526 Kg) de los residuos son de carácter ordinario, dentro de los cuales encontramos restos de comida, residuos de jardinería, empaques y papeles con residuos de comida, entre otros. Estos residuos actualmente no son aprovechados, por lo cual su disposición final es en el relleno sanitario de Doña Juana, sin embargo, los residuos como restos de comida y residuos de jardinería poseen un alto potencial de aprovechamiento para la producción abonos orgánicos. De estos 28.526 kilogramos de residuos se prevé que al menos el 50% (14.263 Kg) sean de carácter aprovechable, es decir restos de comida y residuos de jardinería, por lo cual se plantea la implementación de un sistema de compostaje por pilas del 60% de estos residuos, lo que correspondería a un total de 8.557,8 kilogramos. El compostaje, de acuerdo con Román Martínez & Pantoja (2013, pág. 25) es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxigeno) que con la adecuada humedad y temperatura asegura la transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. En este proceso se obtiene por cada 100 kilogramos de residuos orgánicos, entre 30 y 40 kilogramos de composta en un tiempo promedio de 6 meses (Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013, pág. 32), por lo cual se espera obtener aproximadamente 2.845 kilogramos de composta (suponiéndose que el 5% del material que se puede generar de los 8.557,8 kg se pierde); se propone el desarrollo del compostaje a partir de dos pilas de composta de 2,5 metros de ancho por 3 metros de largo y 1,5 metros de alto dispuestas en frente del vivero de experimentación:		



Ilustración 30. *Ubicación de las pilas de compostaje. (Imagen tomada y modificada de Google Earth)*

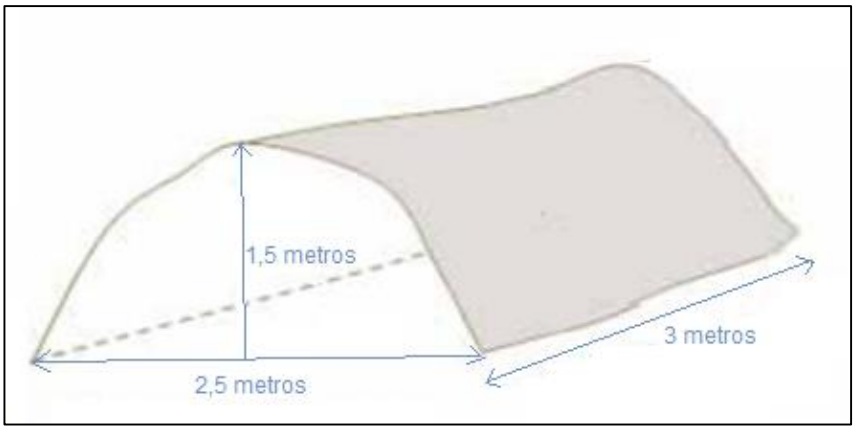


Ilustración 31. *Dimensión de las pilas de compostaje.*

Respecto al uso de la composta obtenida, se propone que el 20% (569 Kg) de esta sea usada en los procesos de jardinería de la facultad (en caso de ser mucho material, podría cederse parte de este a la Facultad de Ciencias y Educación) y el 80% (2.276 kg) restante podría venderse para recuperar la inversión; los precios en el mercado de composta oscilan entre $2000 y $4000 pesos por kilogramo, por lo cual se sugiere la venta del kilo a $3000 pesos, estimándose un ingreso de $6.828.000 al año.

Adicionalmente, para el apoyo de la implementación de esta estrategia, junto con la correspondiente a lombricultura, se diseñó una guía (Ver anexo 3) en donde se indica el proceso de cada sistema de aprovechamiento de residuos, así como los parámetros a tener en cuenta y su monitoreo (se diseñaron fichas de monitoreo tanto para compostaje como para lombricultura, para facilitar el control de las variables importantes).

Para el caso del control de las variables a tener en cuenta para las pilas de compostaje (temperatura, humedad, pH, concentración de oxigeno), se plantea que los estudiantes beneficiarios del apoyo estudiantil puedan cumplir

	con las horas de servicio social realizando este monitoreo y adicionalmente, que se use como material de apoyo para la asignatura de compostaje y lombricultura (código 2363).
Implementación de lombricultura	Como se mencionó anteriormente, se propone el aprovechamiento de 14.263 kilogramos de residuos sólidos orgánicos, de los cuales el 40% (5.705,2 Kg) se tomaran como insumo para el desarrollo de lombricultura en la facultad. La lombricultura, de acuerdo con Cuervo Andrade y otros (2014, pág. 41), "*es un proceso aerobio similar al compostaje en el cual en adición a las bacterias y otros microorganismos, las lombrices juegan un papel importante, ya que por medio de su metabolismo transforman los residuos orgánicos en un abono de excelente calidad en un tiempo estimado de 4 a 6 meses".* La especie a usar será la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), ya que además de ser la más empleada comercialmente, presenta una alta resistencia a condiciones adversas del medio (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 41). Dicho autor menciona también que esta especie vive en promedio 4 años, pesa aproximadamente 1,4 gramos cada individuo, puede duplicar su población entre cada 45 a 60 días, consume lo correspondiente a su propio peso cada 24 horas y excreta aproximadamente el 60% de lo que consume en forma de lombricompost. Se plantea el desarrollo del lombricultivo por medio de camas de madera de 10 metros de largo por 1,2 metros de ancho y 40 centímetros de alto, las cuales tendrán un volumen de 4,8 m^3 y a su vez tendrán un tubo de PVC de ½ pulgada que atravesara toda la cama a lo largo y estarán recubiertas en plástico para facilitar la recolección de lixiviados. Teniendo en cuenta que la densidad de los residuos, como se indicó en los resultados de la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos, es de 250 Kg/m^3 y la cantidad a utilizar es de 5.705,4 Kg, se determinó que estos poseen un volumen de 22,8 m^3, por lo cual se necesitarían 5 camas de lombricompost para su aprovechamiento; a su vez, teniendo en cuenta que el lombricompost se obtiene cada 5 meses aproximadamente, se sugiere la implementación de 3 camas de lombricultura, las cuales estarán ubicadas detrás del gimnasio y el invernadero, como se puede apreciar en la ilustración número 31 (rectángulo rojo). Adicionalmente, como las lombrices son sensibles a la luz, se propone que las camas se dispongan dentro de un invernadero construido con plástico oscuro y madera.



***Ilustración 32**. Ubicación del sistema de lombricultura. (Imagen tomada y editada en Google Earth)*

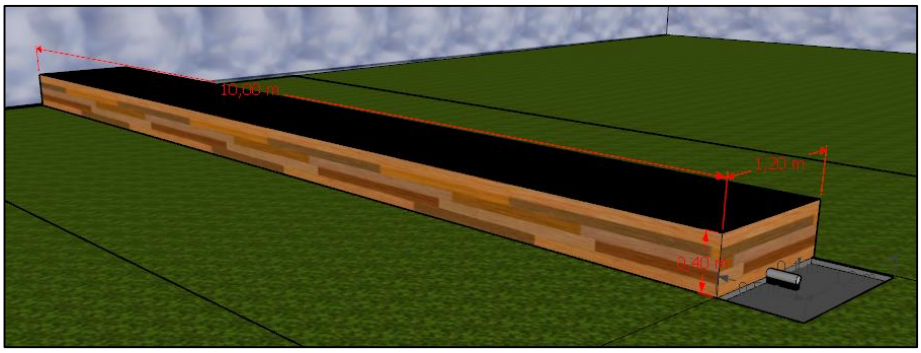


***Ilustración 33.** Cama para lombricultura*

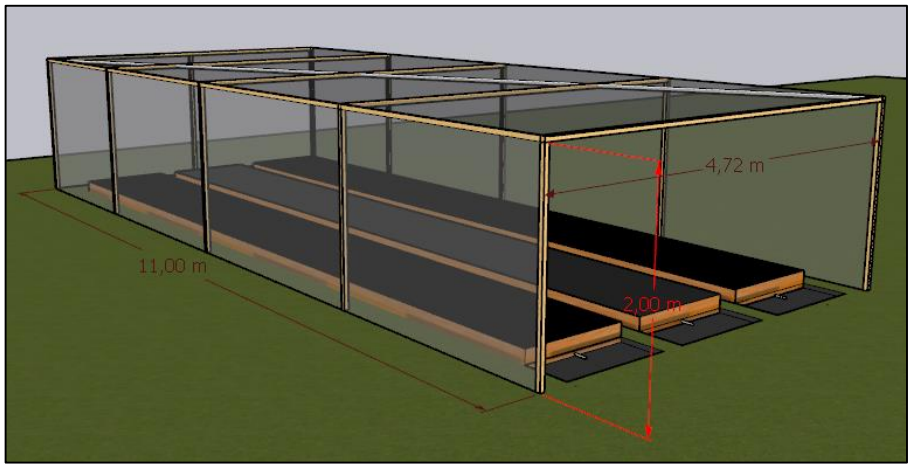


***Ilustración 34**. Camas para lombricultura en invernadero.*

Teniendo en cuenta que se deben usar aproximadamente 8 kilogramos de pie de cría de lombriz por metro cuadrado en las camas (Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013), se prevé la implementación de 288 kilogramos para las 3 camas, los cuales sólo serán adquiridos al momento de comenzar el proceso, ya que aunque el sistema de lombricultivo se desarrollara semestralmente para aprovechar la cantidad de residuos anteriormente mencionada, se considera

	que gracias a la alta capacidad reproductiva de la especie, el número de lombrices usadas en el primer semestre del año será también el insumo para el lombricultivo del segundo semestre del año, con posibilidad de vender cierta cantidad de individuos. Respecto al lombricompost o abono orgánico, como cada kilo de pie de cría contiene entre 450 y 500 lombrices, y se aplican 8 kilos por metro cuadrado en las camas, y teniendo en cuenta que duplican su población en 60 días aproximadamente, se espera tener 273.600 lombrices al año, las cuales, como convierten el 60% de lo que consumen en abono y consumen lo equivalente a su peso cada 24 horas, se espera obtener un total de 28.367 kilogramos (con un margen de pérdidas del producto de 20%) de abono orgánico al año; adicionalmente, la lombricultura también genera una especie de lixiviado o abono líquido, con un rendimiento aproximado de 0,5 litros por kilo de residuo (según Rodríguez Á. R), por lo cual se espera obtener un total de 1.712 litros (con un margen de pérdidas del 40%) de abono líquido. Estos productos pueden ser vendidos para recuperar la inversión realizada, además de un porcentaje de las lombrices en vista de su alta capacidad reproductiva. El humus o abono sólido orgánico obtenido de la lombricultura se encuentra en el mercado en un precio entre $1000 y $3000 pesos el kilo, por lo que se podrían obtener $14.183.500 pesos al año si se vendiera el kilo a $500 pesos. Por su parte, el abono orgánico líquido presenta un precio de entre $10000 y $25000 pesos el litro, por lo cual se podría obtener un ingreso de $8.560.000 pesos si se vende el litro a $5000 pesos. Adicionalmente, dado el potencial de reproducción de las lombrices, se podrían realizar ambos procesos de lombricultura con las 273.600 que se generaron en el primer semestre, vendiendo las que se generen en el segundo semestre del año (273.600), cuyo precio se encuentra aproximadamente en $8000 pesos el kilo, por lo que se podrían obtener ingresos de $1.312.000 al año al vender a $4000 pesos el kilo. Finalmente, al igual que con el compostaje, para el control de variables a tener en cuenta para el lombricultivo (temperatura, humedad, pH, fecha de alimentación), se plantea que los estudiantes beneficiarios del apoyo alimentario puedan cumplir con las horas de servicio social realizando este monitoreo y adicionalmente, que se use como material de apoyo para la asignatura de compostaje y lombricultura (código 2363).

PRESUPUESTO ESTIMADO
El presupuesto estimado para la implementación de sistemas de compostaje y lombricultura de los residuos orgánicos de la facultad fue el siguiente:

Tabla 37. *Presupuesto estimado para estrategia HC_GR2*

Insumo	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Valor total (pesos)
Recursos materiales				
Medidor de Oxigeno y temperatura	$ 16.500.000	Unidad	1	$ 16.500.000
Plástico calibre 3.5	$ 1.656	m2	137	$ 226.872
Pie de siembra de Lombriz californiana	$ 8.000	Kilogramo	288	$ 2.304.000
Tubos de PVC 1/2 pul	$ 12.900	Tubo 1/2 '' x 6m	6	$ 77.400
Madera	$ 11.900	Bastidor de pino (2.4x3cmx2,4 m)	22	$ 261.800
TOTAL				$ 19.370.072

Se tuvo en cuenta que para la construcción del invernadero para las camas se necesita aproximadamente 105 m^2 de plástico, para el manejo adecuado de los lixiviados en las camas se estimó un total de 20 m^2 y para tapar las pilas de compostaje un total de 12 m^2. Con respecto a la madera, se tuvo en cuenta el dimensionamiento presentado en la ilustración número 30.

ESTRATEGIA PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

FICHA 9 REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA FLOTA USADA PARA LAS PRACTICAS ACADEMICAS		FECHA	2020
		CODIGO	HC_CC1
FUENTE EMISORA	Consumo de combustible – Alcance 3		
HUELLA DE CARBONO	35,32 Ton CO_2 eq.		

JUSTIFICACIÓN
El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, en el año 2006, declaro que está demostrado que los conductores con mayor nivel de formación suelen reducir el consumo de combustible en la operación. Mediante la capacitación, los conductores pueden familiarizarse con las técnicas más comunes y efectivas para la reducción del consumo de combustible, y la implementación de un sistema de incentivos creará el interés necesario para que los conductores reduzcan este consumo, se sientan involucrados y participen activamente en los mecanismos de ahorro de combustible. La implementación de un registro de consumo de combustible, aunque no ocasiona directamente una reducción de consumo, posibilita y viabiliza la creación de medidas para reducción del consumo y permite además, evaluar la evolución de las medidas ya instauradas con respecto a la reducción conseguida. Adicionalmente, este tipo de medidas permite identificar las debilidades o puntos de mejora, por ejemplo, reconoce cuáles son los conductores o vehículos que no han presentado la reducción esperada, y permite la formulación de soluciones focalizada.

Blumberg, Walsh & Pera (2003) afirman que los retos ambientales actuales han impulsado la investigación científica y el desarrollo tecnológico acerca de nuevos combustibles y nuevas técnicas que conduzcan a la minimización del impacto ambiental que produce su uso regular en los vehículos. En ese sentido, en la actualidad existen gran variedad de combustibles y técnicas innovadoras que de diferentes formas reducen las emisiones de gases contaminantes que son expulsados a la atmósfera. Por ejemplo, el uso de oxigenantes como el etanol en mezclas con el combustibles, ocasionan una disminución en los contenidos de azufre del carburante, que promueve una reducción en las emisiones (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, 2010), y así mismo, el empleo de biodiesel reduce las emisiones de dióxido de carbono, de hidrocarburos no quemados, de material particulado y de monóxido de carbono, además de ser libre de azufre, no genera dióxido de azufre SO_2, y es biodegradable (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2020).

Con base a lo anteriormente dicho, se plantea la adopción –no obligatoria- de un conjunto de técnicas o medidas focalizadas al uso y elección del combustible, que permitan una reducción considerable de las emisiones atmosféricas que se generan, pueden ser una de las consideraciones a tener en cuenta para la elección de la empresa licitante que prestará el servicio de la flota automotriz a la universidad para el desarrollo de las prácticas académicas, y que de manera directa, permita que tanto la empresa prestadora del servicio como la facultad reduzcan la huella de carbono que produce por el consumo de combustible.

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Capacitación y formación a los conductores	De acuerdo con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2006), la formación a los conductores es un aspecto clave para el ahorro de combustible en trasporte, ellos afirman que es conveniente la capacitación de los conductores en técnicas de conducción eficiente. La formación en este tema permitirá que el conductor conozca cuales son los mecanismos y las herramientas que reducen el consumo de combustible durante un viaje, sin alterar el correcto desarrollo del mismo. Por lo anterior, se establece como un requisito para la contratación de flota automotriz, que la empresa licitante realice al menos una (1) capacitación a los conductores acerca de las técnicas de conducción eficiente y los mecanismos de ahorro de combustible que serán implementadas en los vehículos. Se sugiere que la formación sea continua para conseguir mejores resultados. Por otro lado, se sugiere la creación de un sistema de incentivos para los conductores, con la finalidad de premiar los bajos consumos de combustibles a partir del ahorro mensual conseguido en el vehículo. De acuerdo al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2006), una manera de realizar esta estrategia es mediante *incentivos individuales,* a través de un sistema de control de consumo por conductor, con base a las evoluciones en las medias de consumo, se establece primas según la reducción, de manera que se aumente la vinculación e interés de los conductores por el ahorro en el combustible.
Registro del consumo de combustible	Una forma de mejorar la eficiencia en la gestión del combustible es mediante el control mensual del consumo de acuerdo al kilometraje recorrido por los diferentes vehículos. Este inventario y registro específico del consumo permiten obtener la medida total y los picos de consumo de cada vehículo, además de asociar causas a este. A partir de este registro, el gestor o administrador de la flota automotriz, puede aplicar entre otras medidas, asignar los vehículos con menos consumo en las rutas más largas, mientras que sus características

cumplan con los requerimientos del viaje, y dejando los vehículos con mayor consumo en las rutas más cortas (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006).

*T**abla 38**. Ejemplo del registro del consumo de combustible diario por conductor. Elaboración propia*

REGISTRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE			
Conductor	Juan Bustos	**Matricula**	AMD 572
Tipo de Vehículo	Bus (pasajeros)	**Modelo**	CHEVROLET NPR 2016
Fecha/hora	**Distancia recorrida (km)**		**Consumo (l)**
22/09/2020 20:00	13058		265
23/09/2020 20:00	12095		260
24/09/2020 20:00	17566		295
25/09/2020 20:00	16391		189
26/09/2020 20:00	16229		276
27/09/2020 20:00	18766		241
28/09/2020 20:00	17986		295
29/09/2020 20:00	16254		260
30/09/2020 20:00	17034		282
1/10/2020 20:00	19857		173

Por otro lado, con el ánimo de facilitar el registro, se han desarrollado dispositivos de medición que son instalados en los vehículos, suelen ser denominados medidores de consumo o caudalímetros y son implementados como equipos accesorios; cuando vienen integrados, como se les encuentran frecuentemente, en sistemas con más funciones se denominan *ordenadores a bordo*. Estos equipos cuentan, generalmente, con funciones que permiten obtener las variables de consumo y velocidad para cada conductor, y almacena los datos para un posterior tratamiento informático (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006).

A partir de lo anterior, se sugiere el establecimiento de un registro continuo del consumo de combustible por parte de la empresa licitante, como requisito para la contratación del servicio de la flota automotriz. Esto con la finalidad de obtener una buena gestión del consumo de combustible e incentivar el ahorro de este carburador.

Disposiciones para la contratación de vehículos	Se propone la implementación de varias disposiciones que inclinarían la elección de una empresa licitante, de acuerdo a la ejecución de las siguientes medidas, con el fin de priorizar aquellas empresas que se encuentren en condiciones de reducir en cierto porcentaje el consumo de combustible que se prevé y las emisiones contaminantes al ambiente que se derivan por este proceso. En primera medida, se tendrá en cuenta el tipo de combustible que es utilizado por el vehículo a contratar. De acuerdo a Cancela (2018) los vehículos con motor de diésel moderno son menos contaminantes que un motor de gasolina moderno, en parte por la calidad del combustible y por la incorporación de un completo filtro de partículas que elimina prácticamente el 100% de las partículas no quemadas en combustión. De la misma manera, como se prioriza los vehículos

	diésel moderno ante la gasolina, se prioriza la gasolina sobre los vehículos de diésel antiguo, debido a que estos emiten en mayor proporción gases contaminantes, tales como óxidos nitrosos, monóxidos de carbono e hidrocarburo. Igualmente, se priorizará el uso de combustibles pobres en azufre. Este tipo de carburante reduce las emisiones de CO, HC, y NOx de los vehículos a gasolina equipados con catalizadores, y las emisiones de PM de vehículos a diésel, con o sin catalizadores de oxidación. Así mismo, con el uso de este tipo de combustible, los filtros de partículas instalados en los vehículos diésel pueden mitigar enormemente el efecto de calentamiento global, esto mediante la eliminación de las emisiones de carbono elemental (Blumberg, Walsh, & Pera, 2003). Por otro lado, teniendo en cuenta que se espera que la gran mayoría o la totalidad de la flota automotriz contratada cuente con motores a diésel, se tendrá en cuenta que los vehículos adicionen al combustible una proporción de biodiesel, el uso de este último de acuerdo a Bünger y otros (2000) resulta en bajas emisiones de material particulado (PM), y en la reducción de las propiedades toxicas y carcinogénicas por su alta calidad, ya que al ser un combustible renovable tiene contenido cero de azufre y un número alto de cetano. El biodiesel es un combustible biodegradable, que puede ser utilizado puto o mezclado con el diésel proveniente del petróleo, fue descubierto y patentando en el 1997, en una reacción de un ácido graso vegetal o animal con un alcohol –etanol o metanol-, en presencia de un catalizador. En Colombia, actualmente se utilizan las mezclas en relaciones B7 (7% de biodiesel y 93% de diésel) en el centro-oriente del país, y en el resto, en relación B10 (10% de biodiesel y 90% de diésel) (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2020). Además de las ya mencionadas, el biodiesel tiene como características que es tanto libre de azufre como de aromáticos, tiene un contenido medio de oxígeno y un mayor punto de ignición, reduce además de las emisiones de PM, las emisiones de hidrocarburos parcialmente quemados (HC), de monóxido de carbono (CO) y de dióxido de carbono (CO_2), aunque puede causar un incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno, dependiendo de las condiciones del motor (Alcántara, y otros, 2000). Adicional a lo anterior, otra ventaja de este combustible, al ser obtenido a partir de fuentes renovables, es que cuenta con un ciclo cerrado de carbono, ya que se absorbe cuando la planta crece y se libera cuando se realiza la combustión (Fangrui & Milford, 1999) Así mismo, se tendrá en cuenta la adición al combustible de etanol, si se llegarán a presentar la contratación de vehículos con motor de gasolina. Un adición del 10% en volumen de este al combustible, mejora la calidad del último, no solo por la presencia de oxigeno dentro de la mezcla, sino también porque permite la reducción en los niveles de azufre, aromáticos y olefinas, por el efecto de dilución que se presenta con el etanol (Torres, Molina, Pinto, & Rueda, 2002). El etanol mejora el rendimiento del vehículo y la combustión interna al ser un potenciador de octanaje, cuando se añade un 10% de etanol el octanaje de la gasolina se incrementa en dos puntos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005).

	De acuerdo a Isla (2017), a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla, las emisiones de CO_2 se reducen. Sin embargo, el autor aclara que altos contenidos de etanol (a partir del 20%), pueden provocar daños en los materiales de aluminio y goma del vehículo. La mayoría de los problemas de compatibilidad, desde el punto de vista de la resistencia de los materias, entre la mezcla compatibilidad etanol-combustible surge cuando el primero participa en una proporción mayor al 10% (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, 2010). Para la adición de etanol al combustible de los vehículos que serán contratados por parte de la universidad, se recomienda el uso de un bioetanol, el cual es fabricado comúnmente a partir de la fermentación del azúcar, el almidón o de la celulosa, en una proporción de 5% bioetanol y 95% combustible, en una relación E95, de acuerdo a lo estipulado en la norma de calidad europea EN 228, sin requerirse ninguna modificación del motor.
PRESUPUESTO ESTIMADO	
Teniendo en cuenta que los buses y microbuses utilizados para las practicas académicas no son de propiedad de la universidad, sino son contratados mediante licitaciones a distintas empresas prestadoras de este servicio, y que las medidas dadas en esta estrategia están enfocadas hacia la empresa licitante, con el fin de conseguir un ahorro de combustible, no se considera un presupuesto por parte de la facultad para la ejecución de esta estrategias. Mientras las dos primeras acciones no representa obligatoriamente un gasto para la universidad ni para la empresa contratada, en la tercera medida prima aquellas que a partir de las anteriores condiciones puede producir un ahorro o una disminución en las emisiones que estas prácticas le confieren a la universidad.	

ESTRATEGIA PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE PAPELERIA

FICHA 10 GESTIÓN EFICIENTE DE RECURSO PAPELERO FOCALIZADO A LA PROVISIÓN Y CONSUMO DEL PRODUCTO	FECHA	2020
	CODIGO	HC_CP1
FUENTE EMISORA	Consumo de papelería – Alcance 3	
HUELLA DE CARBONO	0,57 Ton CO_2 eq.	
JUSTIFICACIÓN		
La provisión de papelería a todas las dependencias de la facultad que certifique es reciclable y/o sea totalmente libre de cloro (TCF), permite reducir la huella de carbono que provoca el consumo de este recurso para la sede; esto debido a que se reducen las emisiones de gases contaminantes durante su proceso de fabricación, y además se emplea en este menos recursos naturales, reduciendo el impacto de este insumo sobre el sistema ambiental. Adicionalmente, se prevé que mediante la gestión responsable del recurso se mitigue en cierta proporción la huella de carbono al ser reducido la cantidad de papel que es utilizado, ya sea mediante técnicas especializadas en la reducción del consumo desde las actividades administrativas o desde la reutilización del papel, que indirectamente implicaría una menor utilización de papel limpio, y por lo tanto en su adquisición.		
ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	

Compra de insumos papeleros	Para la reducción de la huella de carbono proveniente por el uso de papelería se plantea en primera medida, seguir las siguientes especificaciones en la adquisición del insumo, con el fin de conseguir la reducción de emisiones resultantes de la realización de este: En primer lugar, se tendrá en cuenta la compra de papel que sea 100% reciclable preferiblemente, o que contenga la mayor fracción posible de fichas recicladas. Se preferirá aquel que esté fabricado con fibras procedentes del papel de postconsumo (papel ya ha sido usado), y de no ser posible, que sea con fibras procedentes del papel pre consumo (papel conformado por los restos de recortes de imprentas que no han sido usados). Adicionalmente, se elegirá aquel papel que sea totalmente libre de cloro (TCF), es decir que no haya sido blanqueado con este material (Línea Verde Municipal, s.f.). Cuando por motivos de presentación no se pueda utilizar un papel reciclable y sea necesario la utilización de un papel de alta calidad, se propenderá por aquellos papeles que sean totalmente libres de cloro (TCF). En caso de que los proveedores no dispongan de papel reciclado ni TCF, por ser de tamaños especiales, se consumirán únicamente papeles que sean ECF (Elemental Chorine Free) (Línea Verde Municipal, s.f.). A la hora de adquirir el producto, se debe tener en cuenta además de lo anterior que en el proceso de blanqueado, no se hayan utilizado sustancias químicas tales como plomo, cadmio, arsénico, bario, selenio y/o cromo hexavalente (Agencia Nacional de Tierras , 2018). Además de lo anterior, se les solicitará a los proveedores que proporcionen la información completa de las características técnicas ambientales de cada producto (Línea Verde Municipal, s.f.). Por último, se optará por la adquisición de papeles con pesos menores, con el fin de reducir el peso total consumido y dispuesto finalmente. Por ejemplo, la utilización de hojas de 70g/m² en lugar de 90g/m², proporciona una reducción de más del 10% de la cantidad del papel utilizado, lo que al final tendrá incidencia en la cantidad de papel que es consumido, y por lo tanto, en las emisiones que se contrajeron por su fabricación (Línea Verde Municipal, s.f.).
Buena gestión del recurso papelero	Se plantea la adopción de las siguientes medidas con el fin de reducir el consumo de papel en la facultad en cierta proporción: En primer lugar, se plantea realizar la medición al consumo del papel, con fin de identificar dependencias o lugares y periodos de tiempo en los que se aumenta o disminuye el consumo, y con dicha información formular medidas acertadas y focalizadas de ahorro de papel. De acuerdo Línea Verde Municipal (s.f.) medir la cantidad de papel que está siendo utilizado permite "*conocer qué mejoras se pueden realizar, explicar estas mejoras al resto de miembros de la entidad y comprobar si se están consiguiendo los objetivos de ahorro y reciclaje de papel".* Se plantea la adopción de las siguientes medidas, en caso de que aún no se tengan implementadas: fotocopias e impresiones a doble cara, elección de tamaño de letra y fuente más pequeños en la medida de lo posible, configurar correctamente las paginas antes de ser impresas con el fin de evitar desperdicios de papel, conocer el uso correcto y el funcionamiento de las impresoras y

	fotocopiadoras, y tener preferencia por el intercambio de información virtual, por ejemplo, en la mayoría de las entidad se cuenta con una red interna y portales de intranet, se sugiere la utilización de estos para el intercambio de información dentro de la organización, y el uso de los correos electrónicos para la comunicación externa (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2011). Por último, se propone la reutilización de los papeles que han sido usadas solo por una cara y que se encuentran en buenas condiciones. Esta reutilización se puede realizar mediante la localización en varios puntos de hojas de papel que se consideren puedan ser reutilizadas, para que tanto estudiantes como personas interesadas puedan disponer de ellas para su uso, y se reduzca de manera indirecta el consumo global de este recurso. Se sugiere la creación de cuatro puntos para la ubicación de las hojas a reutilizar: entrada de biblioteca, entrada al edificio Natura, Interior edificio Secretaria Académica y salas de sistemas.
PRESUPUESTO ESTIMADO	
Se considera que el presupuesto estimado para esta estratégica, de acuerdo a las acciones propuestas, es de $0. Debido a que en primera medida, se cuenta con consideraciones que permitirían bajar las emisiones provocadas en la fabricación del papel a partir de la adquisición de un producto con menor carga ambiental, y en segundo lugar, porque se sugieren la implementación de medidas que pueden disminuir el consumo de papelería, pero que su implementación no involucra la disposición de recursos económicos por parte de la facultad.	

ESTRATEGIA PARA LA COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO A PARTIR DE LA REMOCIÓN DE GEI

FICHA 11 REMOCIÓN DE GEI: COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO A TRAVES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN JARDIN VERTICAL	FECHA	2020
	CODIGO	HC_MI1
FUENTE EMISORA	Huella de carbono total	
HUELLA DE CARBONO	481.92 Ton CO_2 eq.	
JUSTIFICACIÓN		
De acuerdo a la Secretaria Distrital de Ambiente (2015) las cubiertas verdes, como jardines verticales y techos verdes sirven y son utilizados con frecuencia por las organizaciones para compensar la huella de carbono que estas poseen. La creación de un jardín vertical en la facultad, aprovechando la altura total de edificio natura, puede permitir que las emisiones de GEI producidas dentro de los límites de la sede sean compensadas, mediante la fijación de carbono por parte de las plantas sembradas en el jardín, y se logre una reducción de la huella de la facultad. Para la implementación de la cubierta se sugiere la utilización de especies vegetales, que mediante investigaciones científicas se ha determinado que poseen una alta capacidad de fijación.		
ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	
Implementación de un jardín vertical	Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo, en el año 2016, propusieron la construcción e instalación de paredes verdes en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, estas se ubicarían en el muro nororiental del edificio natura, y tendrían, de acuerdo a las autoras, un área cubierta de 159 m^2. La idea de implementar esta pared verde, en este año, surge del hecho de que esta puede brindar aislamiento térmico y acústico al edificio principal, es un	

	moderador del efecto “isla de calor”, un instrumento para el manejo sostenible del agua lluvia, y además, mejora la calidad del aire. Una pared verde, además de los beneficios anteriormente mencionados, puede ser un instrumento para la compensación de la huella de carbono de la facultad, debido a que si son elegidas las especies vegetales correctas puede funcionar como un sumidero de carbono, lo que implica la reducción de la HC por la fijación de carbono y consumo de CO_2, con respecto a las emisiones de GEI que son ocasionadas en la facultad. Del mismo modo, de acuerdo a Minke (2017) otros beneficios que puede ofrecer una pared verde, además de la producción de oxígeno y consumo de CO_2 mediante el proceso de la fotosíntesis, son regulación de la temperatura gracias a que las plantas extraen calor del ambiente y reducen los gradientes térmicos día-noche, protección térmica al crear un colchón de aire que ofrece aislamiento; ofrece también sombra a la fachada y absorbe una parte de la energía solar incidente mediante la fotosíntesis; este tipo de cubierta verde permite también regular la humedad o el reciclaje de las aguas grises, si se realiza un tratamiento adecuado. Una pared verde o un jardín vertical es un tipo de cobertura verde, que consiste en un sistema constructivo con un núcleo de suelo soportado por geomembranas que permiten inclinaciones de hasta 80° sin limitaciones de altura, con un paramento vegetalizable (Fernández Tabasco, 2020). De acuerdo al anterior autor, un muro verde puede ser de gran versatilidad tanto en formas como en especies vegetales, se adapta a diferentes tipos de espacios públicos y puede permitir el mantenimiento de la biodiversidad en el desarrollo de una ciudad. Con respecto a la clasificación de este tipo de cobertura verde, López Benítez (2016) declara que se pueden clasificar en sistemas directos y sistemas indirectos, donde el primero se diferencia porque usa la fachada del edificio como guía y soporte para el jardín vertical, y el segundo porque se utiliza un sistema intermedio, generalmente de soporte, entre el jardín y la fachada. En el primer sistema nombrado anteriormente, se encuentran aquellos muros con vegetal natural o artificial, y en el segundo se encuentran entre otros sistemas, los Living Wall Systems, los cuales de acuerdo al autor, son soluciones donde las plantas crecen a cierta distancia de la fachada y forman un envolvente vegetal continuo, pueden ser implementación en cualquier localización, y debido a su complejidad, requieren cuidados y mantenimientos intensivos (riego continuo, nutrientes, y fertilizantes). Dentro de los sistemas indirectos, se pueden encontrar sistemas de sustrato pesado, de sustrato ligero, hidropónicos, o aeropónicos (López Benítez, 2016). Dentro los dos primeros, las dos tecnologías más reconocidas y populares para su implementación, se basan en el fieltro, que es un geotextil ubicado sobre una estructura que emplea un sistema de riego automatizado, o los bolsillos de geotextil, que tienen como ventaja que permiten una instalación sencilla y paulatina. Existen otros mecanismos de implementación como los contenedores de plástico reciclado, los sistemas modulares cuadrados, o los sistemas flotantes (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

	Adicionalmente, un jardín vertical según Alcaldía Mayor de Bogotá (2015), debe cumplir con las siguientes funciones básicas: Estanqueidad, drenaje, capacidad de retención de agua, consistencia, nutrición, filtración; y está conformado por los tres siguientes componentes: • Componente activo: Son los elementos biológicos o los elementos que soportan la vida en el sistema, es decir, la cobertura vegetal y el medio de crecimiento • Componentes estables: Son los elementos inertes del jardín y que son fabricados para cumplir determinadas funciones dentro del jardín como Membranas de impermeabilización, barreras anti-raíces, barreras filtrantes, medios de drenaje, elementos de irrigación, etc. • Componentes auxiliares: Elementos que cumplen funciones específicas para adaptar correctamente el jardín vertical a la estructura del lugar, como iluminación, protección, riego, etc. Con respecto al componente activo del jardín vertical a implementar, se debe tener en cuenta que sean especies vegetales que puedan ser consideradas un sumidero de carbono, y que su fijación de carbono sea considerable. En este sentido, un estudio realizado por Getter, Rowe, Robertson, Cregg & Adresen (2009) arrojo que una cubierta de *Sedum* puede capturar en promedio por planta 375 g de C por m^2 en un periodo de seis meses, distribuido en 45% capturado por la vegetación aérea, 28% por la raíz y 27% por el sustrato. Otras especies recomendadas para su plantación en el muro verde son las trepadoras *Pentalinon luteum* y *Clitoria ternatea,* las cuales fijan por planta en un periodo de 6 meses respectivamente 263,25 g y 42,84 g por metro cuadrado (Carbajal, Rodríguez, Ávila, Rodríguez, & Hernández, 2017). De acuerdo con Sánchez Quintanilla (2014) la hiedra puede ser otro género vegetal a considerar en la implementación del jardín vertical debido a que puede fijar 0,4485 kg de CO_2 por m^2 anualmente. Para la instalación del jardín vertical en el edificio Natura de la facultad, se propone la creación de un sistema de sustrato ligero, que esté conformado por paneles de acero inoxidable o aluminio, que formen perfiles tanto verticales como horizontales, y por un fieltro preferiblemente de fibras orgánicas, o sino de poliéster, al que se le realicen aberturas para sembrar las plantas y disponer el material impermeabilizante contra la fachada, todo esto, acompañado de un sistema de riego, en la medida de lo posible, automatizado. La localización del jardín vertical se sugiere sea en la esquina del costado nororiental del edificio natura, el mismo lugar escogido por Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo, en el año 2016. Se recomienda que cuente con un área estimada de 143.36 m^2, y que las especies a sembrar en el sistema sean *Sedum praealtum, Sedum spurium, Pentalinon luteum, Clitoria ternatea, y Hedera hélix.* Se estima que la vida útil de los paneles a instalar puede durar varias años, sin embargo las plantas pueden crecer de formar sostenible hasta 10 años antes de que tengan que ser remplazadas (HUICHOL, 2016).



Ilustración 35. *Diseño del jardín vertical en el edificio natura.* ***Fuente:*** *por Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo (2016)*



Ilustración 36. a. Sedum praealtum b. Clitoria ternatea *c. Pentalinon luteum. Fuente: Biodiversidad Virtual, 2020*

PRESUPUESTO ESTIMADO

De acuerdo a la empresa Gota Terra S.A.S (2020) la instalación e implementación de un jardín vertical, con un área de 143.36 m^2, que cuente con fieltro de paño geotextil con bolsitos de aproximadamente 20 x 20 cm, teniendo en cuenta la instalación también de la estructura de protección y aislamiento de la pared, del sistema de riego automatizado, y del sistema de drenaje, por parte de un técnico en altura, posee un costo aproximado de $500.000 por m^2 incluyendo las plantas, por lo se estima que es presupuesto para la construcción del jardín propuesto, es de **$71.000.000**.

DISCUSIÓN

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Respecto a la posible reducción generada por la implementación de los túneles solares, se tuvo en cuenta el rendimiento lumínico indicado por la empresa VELUX (ver gráfica 2), tomando el promedio entre el rendimiento con cielo descapotado (7.000 lúmenes) y el que se presenta con cielo nublado (3.000 lúmenes), es decir 5.000 lúmenes; esta empresa menciona además, por medio del gráfico, que el rendimiento aproximado de las lámparas fluorescentes (tubos) es de 1.500 lúmenes (las cuales se consideraron como las luminarias a reemplazar en el laboratorio de microbiología y el auditorio; cabe afirmar que se consideró que estas luminarias no presentan un uso muy frecuente en horas de la noche, ya que ambos lugares mencionados suelen ser usados por la comunidad académica en horas del día).

Dicho lo anterior, cada túnel solar podría reemplazar 3 luminarias fluorescentes, para un total de 12 luminarias fluorescentes que no serían usadas en la facultad, lo cual contribuiría a la reducción de 1.284 KWh/año, lo que se traduce en **una reducción del 0,37% reflejadas en 0,30 toneladas de CO_2 eq.**

En el caso de las 10 baldosas piezoeléctricas, se consideró que la población activa de la facultad al año 2019 fue de 3.586 personas (entre estudiantes, docentes y administrativos, la cual se determinó haciendo una estimación de la población de la sede Vivero con base al número de proyectos curriculares existentes en la misma y a la comunidad académica de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales indicada por La Coordinación General de Acreditación), de las cuales se estimó que por lo menos el 60% (2.152 personas) tendrá que pasar por la puerta al menos una vez al día, es decir que estas 2.152 personas pisarían por lo menos 1 vez cada baldosa, por lo cual cada una de estas recibiría aproximadamente 2.152 pisadas al día; en ese orden de ideas, el sistema de las 10 baldosas recibiría 21.519 pisadas al día, y considerando días activos de lunes a viernes y 8 meses de flujo de la comunidad académica activo, recibiría 3'443.003 pisadas al año.

Una vez se determinó el número de pisadas al año, y al saber que 1 KWh equivale a 3,5 MJ, se procedió a determinar la cantidad de energía en joules que es generada por el sistema, lo anterior conociendo que de acuerdo con Agatón Aguirre (2014, pág. 8) la energía que una persona promedio genera por cada paso es de 4,46 J, por lo cual se obtuvo que las 3'443.003 pisadas al año generarían una energía total de 15.355.793,7 J, es decir 15,35 MJ, lo que equivale a 4,39 KWh. Lo anterior se vería reflejado en una reducción de **0,0013%** en el consumo de energía de la facultad, por lo cual se puede afirmar que no es una estrategia factible para la reducción de la huella de carbono del campus; sin embargo, este valor podría suplir el 79,5% del consumo energético del invernadero o el 100% del consumo del vivero de experimentación, de acuerdo al perfil energético de FAMARENA presentado por Fajardo Rodríguez & Guzmán Muñoz (2017):

Tabla 39. *Perfil energético de la FAMARENA - Sede Vivero.* ***Fuente****: Fajardo Rodríguez & Guzmán Muñoz (2017)*

EDIFICIO	CONSUMO MENSUAL (KWH)
Natura	7644,58
Herbario	8590,62
Decanatura	5306,49
Laboratorios	7638,85
Bienestar institucional	521,72
Invernadero	5,52
Gimnasio	84,46
Carpintería	18,35
Vivero	0,26
Otros (Fotocopiadora, casetas de vigilancia, alumbrado)	1595,22

A su vez, visto desde otra perspectiva, Morras Barrio (2019, pág. 47) menciona que las emisiones de CO_2 evitado por cada KWh (en $KgCO_2$) por las baldosas Pavegen son de 0,395, por lo cual se puede afirmar que la implementación de este sistema se traduciría en **1,7 Kg CO_2 evitado.**

Adicionalmente, se determinó el tiempo de vida útil de las baldosas; de acuerdo con Agatón Aguirre (2014) estas poseen un tiempo de vida útil de 20'000.000 de pisadas, por lo cual, al dividir este valor

por las pisadas estimadas al año se encuentra que el sistema presenta un tiempo de vida útil de aproximadamente 6 años.

Por otro lado, el sistema de monitoreo del consumo energético propuesto, compuesto inicialmente por 10 dispositivos de medición, distribuidos en diferentes ubicaciones de la facultad, y un dispositivo central de coordinación, tiene como finalidad conocer la distribución del consumo eléctrico en los diferentes lugares de la sede a lo largo del tiempo. De acuerdo con Pilicita & Cevallos (2019), en este tipo de sistema, el usuario puede conocer *"en todo lugar y en cualquier momento el consumo eléctrico en áreas específicas",* y de acuerdo a los datos obtenidos, formular medidas oportunas de ahorro del recurso.

Con el sistema propuesto para la facultad, en la sede de vivero, con un presupuesto de inversión de $8.329.724, se pretende conocer más allá de la distribución del consumo eléctrico en los diferentes espacios en periodos de tiempo establecidos, cuáles son los picos de alto consumo, a qué espacio o periodo corresponden, y mediante un análisis certero de los datos entregados por el sistema, asociar cuales son las causas de este alto consumo. A partir de la definición del origen de estos altos valores, se propone la creación de diferentes medidas y técnicas asequibles y especializadas, que de acuerdo al contexto del lugar o momento, permitan la reducción del consumo eléctrico.

Adicionalmente, con la distribución continua del consumo eléctrico en diferentes espacios y periodos de tiempo, se propone también evaluar la efectividad de las medidas que hasta el momento de instalación del sistema de monitoreo, hayan sido implementadas en la facultad. Con este sistema de medición se determinará a partir de datos de consumo, si las medidas están avanzando de acuerdo a lo estimado, si están funcionando correctamente, o si en vez de esto, representan una carga económica para la facultad y no representan ningún aporte hacia la consecución del objetivo por el cual fueron diseñadas.

De acuerdo a lo anterior, esta estrategia a diferencia de las demás, no representa una reducción real en el consumo energético de la facultad y por lo tanto en la huella de carbono de la misma. Se considera este sistema de monitoreo como una estrategia de apoyo hacia las acciones propuestas en el documento, y hacia futuras propuestas que puedan ser creadas y que apunten también hacia la reducción del consumo de energía eléctrica de la sede, en aras de avanzar hacia la consecución de la sostenibilidad.

Acerca de la reducción de la Huella de Carbono que se genera al realizar el cambio de las luminarias actuales a luminarias LED, Córdoba Lozano, Romero Sanabria, & Rueda Fajardo (2016, pág. 94) mencionan que se obtendría un ahorro de 40% en el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación, el cual, según Barreto Córdoba & Sandoval González (2016) para la facultad representa un 47,7% del consumo total de energía (es decir 165.979 KWh). Dicho lo anterior, se puede afirmar que al realizar el cambio a las luminarias LED el consumo de energía pasaría de ser 165.979 KWh (al año) a ser 99.588 KWh, lo cual se vería reflejado en **una disminución de 15,27 ton CO_2 eq (19,08%)**, **ya que la huella de carbono derivada de esta actividad pasaría de ser 80,03 ton CO_2 eq a ser 64,76 ton CO_2 eq.**

Por otro lado, respecto a la utilización de sensores de movimiento y de luz natural para la reducción de la huella de carbono derivada del consumo eléctrico, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía de España, en el año 2001, declaro que un sensor de movimiento puede conseguir un ahorro energético superior al 25%, en una situación donde se entra a un espacio donde la luz es insuficiente, el sensor está en funcionamiento, detecta la presencia y enciende las luces, están permanecerán encendidas mientras se detecte movimiento y no haya transcurrido el tiempo de desconexión.

Con respecto a los sensores para el aprovechamiento de luz natural, de acuerdo a LUTRON (s.f.) el ahorro energético puede ir desde el 25% hasta el 60%, al regular la intensidad y la cantidad de luz artificial que es usada cuando hay luz natural disponible para iluminar el espacio. De la misma forma, es importante recalcar que, como se mencionó anteriormente, el correcto funcionamiento de esta estrategia está condicionado a que se haya implementado antes el cambio de la iluminación por bombillos LED, por lo cual se considera esta estrategia directamente dependiente de la estrategia anterior.

Dicho esto, el correcto funcionamiento de esta estrategia y en general los sensores de movimiento y luz natural, depende directamente del cambio anterior de todas las luminarias por bombillos LED, se considera que esta estrategia será viable y permitirá la reducción de la huella de carbono, en el orden de que la transición a este tipo de bombillos se realice preliminarmente.

Teniendo en cuenta que existirán en la biblioteca de la facultad 30 luminarias empotradas cada una con 4 bombillos LED en tubo de 9W, y 20 luminarias tipo plafón LED de 720 lúmenes y 12W, después del remplazo de todas las luminarias actuales a LED, y considerando un tiempo de uso de 6 horas diarias, se estimó que el consumo anual de la biblioteca por iluminación seria de 80,3 KWh, el cual se reduciría un 25% con el uso de los sensores de luz natural, que equivale a 20,075 KWh. De la misma manera, la reducción en el consumo eléctrico por el uso de los sensores de movimiento, se estima que sea de 24.896,89 KWh anualmente, considerando un ahorro mínimo del 25%.

De acuerdo a lo anterior, el consumo anual se reduciría de 281.573 KWh, obtenido de la implementación de la estrategia de la transición a bombillos LED, a 256.661 KWh, por lo que, la huella de carbono derivada por el consumo de energía eléctrica **se reduciría en 5,730 ton CO_2 eq (7,15%), debido a que la huella de carbono pasa de ser de 64,76 ton CO_2 eq a ser de 59,03 ton CO_2 eq.**

Por último, con respecto a la estrategia de la restricción de tiempo de encendido de los computadores, de acuerdo a Barreto Córdoba & Sandoval González (2016) en la facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los equipos ofimáticos, tales como computadores, impresoras, fotocopiadoras y demás equipos de oficina, participan un 18,8% en el consumo total de energía eléctrica de la universidad. Actualmente, no se cuenta con la información acerca de un inventario de estos recursos ofimáticos, por lo cual para la investigación se estima que el 50% del consumo eléctrico total que tienen este tipo de equipos corresponden a los computadores que se encuentran en salas. De acuerdo a lo anterior, se supone que el consumo de las salas de sistemas anualmente es de 32.708,71 KWh.

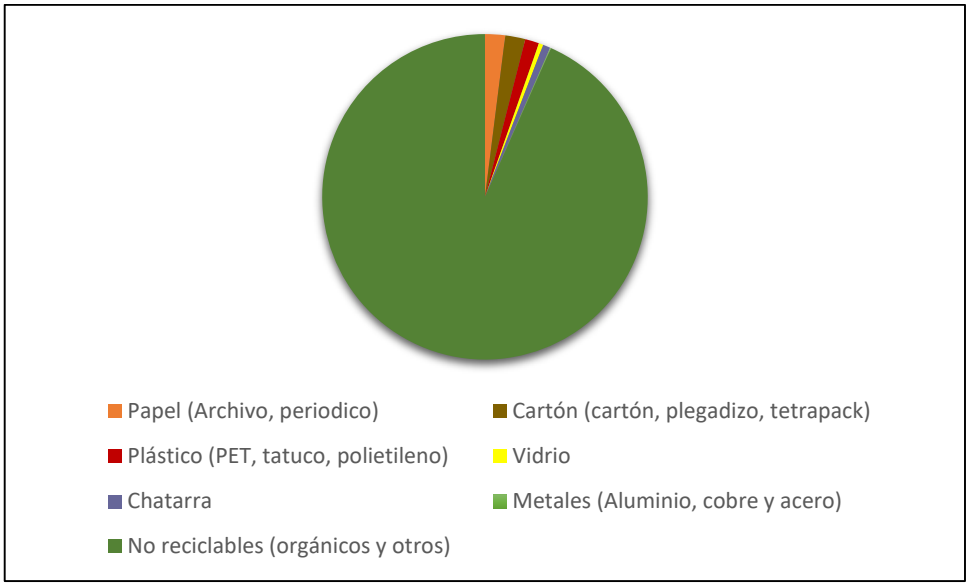
Para cuantificar la reducción de consumo eléctrico que se puede conseguir al implementar dicha estrategia, se asumió que se conseguirán 4 horas de apagado adicional para cada equipo diariamente, lo que conseguiría 1.460 horas al año de ahorro. De acuerdo a la Universitat d'Alacant (s.f.) un computador consume 97% menos de energía eléctrica cuando este se encuentra apagado, lo que supone un ahorro de 5.287,90 KWh al año, lo que se traduce en una reducción del consumo eléctrico, el cual pasaría de 347.965 KWh a 342.677 KWh al año, que significa una reducción de la huella de carbono de **1,22 ton CO_2 eq (1,51%), debido a que la huella de carbono pasa de ser de 80,03 ton CO_2 eq a ser de 78,82 ton CO_2 eq.**

Tabla 40. Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica

ESTRATEGIA	REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE ENERGÍA		REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL
Túneles solares	0,3 ton CO2 eq.	0,37%	0,062 %
Baldosas piezoeléctricas	0,0017 ton CO2 eq.	0,0046%	0,0004 %
Sensores de movimiento y luz natural	5,73 ton CO2 eq.	7,15%	1,19 %
Transición a bombillos LED	15,27 ton CO2 eq.	19,08%	3,17 %
Control tiempo encendido computadores	1,22 ton CO2 eq.	1,51%	0,25 %
TOTAL	28,24 ton CO2 eq.	35,29	5,86 %

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Como se mencionó en los resultados de huella de carbono derivada de la generación de los residuos sólidos, la caracterización de los mismos para la facultad es la siguiente (Ver tabla 15):



Gráfica 4. Distribución de los residuos sólidos en FAMARENA - Sede Vivero.

En donde se puede apreciar que los residuos sólidos reciclables constituyen tan sólo el 6,7% aproximadamente, siendo el otro 93,3% residuos ordinarios o no reciclables, dentro de los cuales estarían los residuos orgánicos y de jardinería, los residuos provenientes de los baños y otros (empaques con restos de comida en su mayoría).

Citando las caracterizaciones de los residuos sólidos de otras universidades capitalinas, encontramos el caso de la Universidad de La Salle, que según Reyes Salazar & Panche Caño (2019, pág. 51 y 52) presenta los siguientes porcentajes en sus residuos sólidos: 15,1% de papel, 9,6% de plástico, 7% de cartón, 2,7% de vidrio, 11,9% orgánicos, 36,1% hojarasca, 6,9% papel de baño y 10,7% otros; estos

porcentajes pueden ser resumidos entre 34,3% residuos reciclables (papel, vidrio, plástico y cartón) y 65,7% residuos no reciclables (orgánicos, hojarasca, papel de baño y otros).

Por su parte, Lizarazo Lizarazo (2017, pág. 95) menciona que los residuos generados en la ciudad universitaria presentan la siguiente composición: 3% posconsumo, 20% residuos biodegradables, 20% residuos reciclables, 41% residuos ordinarios, 7% residuos químicos y 9% residuos infecciosos.

Así mismo, Holguín Aguirre (2015, pág. 62) afirma que la caracterización de los residuos sólidos de la Universidad Libre – Sede El Bosque es la siguiente: 11% papel, 4% cartón, 11% vidrio, 28% plástico, 1% metales, 3% empaques compuestos, 21% orgánicos y 21% otros, de lo cual se puede evidenciar que el 54% serian residuos reciclables (papel, cartón, vidrio y plástico).

De lo anterior se puede decir que el porcentaje de residuos reciclables en una universidad en promedio se encuentra entre el 20% y el 50% del total de residuos generados en la misma, y a su vez, el porcentaje de residuos orgánicos en promedio está entre 10% y 20% (40% aproximadamente incluyéndose la hojarasca), por lo que se espera que si se realiza la separación en la fuente adecuada de los residuos sólidos, como se propuso en las estrategias (HC_GR1), se aumente el porcentaje de residuos reciclables a un 30% aproximadamente, lo que a su vez contribuiría en la reducción de la huella de carbono derivada de esta actividad, ya que de acuerdo a lo planteado por Aponte (2017), las emisiones de los residuos sólidos reciclables se consideran como emisiones evitadas.

En ese orden de ideas, el aumento de residuos reciclables de 6,7% (2.034 Kg) a 30% (9.168 Kg) se traduciría en una reducción de la cantidad de residuos sólidos que van a parar al relleno sanitario, los cuales pasarían de ser 28.526 Kg a ser 21.392 Kg; y a su vez, **la huella de carbono pasaría de ser 365,99 ton CO_2 eq a ser 274,46 ton CO_2 eq, reduciéndose en un 25,01%.**

Por otro lado, respecto a la reducción de emisiones por el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos por medio de compostaje y lombricultura, se debe tener en cuenta que estos sistemas también generan emisiones de CO_2, sin embargo emiten mucho menos que las que puede llegar a generar un relleno sanitario o vertedero; Zúñiga Ubillús (2013, pág. 33) realizó la comparación de las emisiones de CO_2 eq de la disposición de residuos sólidos en un vertedero con su aprovechamiento por medio de compostaje y lombricultura, en donde encontró que al usar dichos sistemas de aprovechamiento se reducían en un **11,09%** las emisiones de CO_2 equivalente. Dicho lo anterior, con la implementación del compostaje y la lombricultura para el aprovechamiento del 50% de los residuos ordinarios de la facultad, se prevé una reducción de **20,29 ton CO_2 eq (5,55%), pasando la HC de 365,99 ton de CO_2 eq a 345,69 ton de CO_2 eq.**

A su vez, si se implementaran estas medidas juntas, se esperaría que el porcentaje de residuos reciclables fuera de 30%, el de orgánicos de 40% (los cuales serían aprovechados en los sistemas de compostaje y lombricultura) y los ordinarios de 30%, presentándose una disminución en la **huella de carbono de 29,76%, es decir de 108,92 ton de CO_2 eq.** Por lo cual se puede decir que aunque estas estrategias no dependan la una de la otra, si se implementasen conjuntamente se obtendrían mejores resultados.

Respecto a lo financiero, la implementación de ambas estrategias conllevaría una inversión total de $20.558.372 pesos, los cuales podrían ser recuperados por medio de los ingresos obtenidos de la venta del abono orgánico que resulta del aprovechamiento de los residuos por sistemas de compostaje y lombricultura, ya que estos son de $30.883.500 pesos al año; a su vez, estos ingresos anuales podrían contribuir a recuperar las inversiones realizadas para la ejecución de las demás estrategias propuestas en las otras líneas (energía eléctrica, consumo de combustible y papelería).

Tabla 41. Reducción de la huella de carbono derivada de la generación de residuos sólidos.

ESTRATEGIA	REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS		REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL
Manejo de residuos sólidos	91,53 ton CO2 eq.	25,01%	19 %
Implementación Compostaje y lombricultura	20,29 ton CO2 eq.	5,55%	4,21 %
Implementadas juntas	108,92 ton CO2 eq.	29,76	22,60 %

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Según el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (2006) si el conductor mejora su comportamiento en torno al consumo de combustible, aplica técnicas de conducción eficientes y aplica conscientemente mecanismos de reducción de consumo, puede dar a lugar ahorro en el consumo de combustible del orden del 10 al 15%. Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la aplicación de esta medida, un ahorro del 10% significaría 1.301 galones, lo que reduciría el consumo de combustible al año a 11.707 galones, que significa una reducción de la huella de carbono de **3,53 ton CO_2 eq (10%), debido a que la huella de carbono pasa de ser de 35,32 ton CO_2 eq a ser de 31,79 ton CO_2 eq.**

Por otro lado, a partir de la segunda medida de esta estrategia se podría conseguir la reducción en las emisiones de CO_2 que son generadas por el consumo de combustible en las prácticas académicas. Con respecto a las consideraciones que fueron dadas para la licitación de los vehículos, Cancela (2018) especifica que los vehículos de gasolina emiten al menos un 20% más de CO_2 que un motor diésel; Stang, Koeberlein & Ruth (2001) declaran que debido al aumento del rendimiento energético, los motores de diésel modernos pueden reducir las emisiones de CO_2 en 30% sobre los vehículos convencionales a gasolina, y que con diseños avanzados de motor, los motores a diésel pueden conseguir una reducción de hasta 45% en las emisiones de CO_2 (König, 2001).

Así mismo, la elección vehículos que consuman combustibles con niveles bajos de azufre reduciría la huella de carbono derivada de estas actividades, y las emisiones que son generadas. Según la AECC (2000), la reducción de los niveles de azufre en el combustible podría reducir las emisiones de metano de los motores de gasolina en 20% y las emisiones de N_2O en un 70%. Por otra parte, se considera que la mezcla de 20% de biodiesel con el diésel, puede reducir las emisiones en los autobuses urbanos hasta en un 16%, el material particulado (PM) en un 32%, el monóxido de carbono (CO) en un 35%, los óxidos de azufre en un 8% (CORPODIB, s.f.; Rojas, 2004), y el dióxido de carbono (CO_2) se puede reducir en 15,6% (US Department of Energy, 1998).

De la misma forma, la adición de bioetanol al combustible, en este caso la gasolina, en una mezcla con proporción de 5 a 95% puede disminuir las emisiones de CO_2 entre un 2,5 y un 3% (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005)

De acuerdo a la anterior, se considera que la elección de la flota automotriz que cuente con una o varias de las consideraciones arriba mencionadas, puede provocar una reducción en las emisiones de CO_2 mínima de 16%, involucrando solo la adición del biodiesel al combustible regular, en el caso de que toda la flota cuente con motor a diésel, y máxima del 30% si se cuentan con vehículos con motores

modernos de diésel. Se tuvo en cuenta que la huella de carbono, medida en toneladas de CO_2 equivalente, cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, de acuerdo a la cantidad de emitida de cada gas y su potencial de calentamiento global. Este último según CCA Coalition (s.f.) compara la capacidad de los gases a atrapar el calor en la atmósfera en comparación al dióxido de carbono, al cual se le es dado el valor de 1.

En este sentido, con base a lo anteriormente dicho, se considera que la reducción en las emisiones de CO_2 influye directamente y en un factor de a 1 las emisiones responsables del valor de la huella de carbono en toneladas de CO_2 equivalente. Dicho esto, la reducción mínima que se puede obtener al aplicar estas medidas sobre la huella de carbono, teniendo en cuenta la primera reducción conseguida por el ahorro de combustible a cargo de las practicas del conductor, **es de 5,09 ton CO_2 eq (16%) al pasar la huella de carbono de 31,76 a 26,70 ton CO_2 eq, y una reducción máxima de 9,54 ton CO_2 eq (30%), ya que huella pasa de ser de 31,76 a 22,25 ton CO_2 eq.**

__Tabla 42__. Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de combustible

ESTRATEGIA	REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE				REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL	
Formación a conductores	3,53 ton CO2 eq.		10%		0,73 %	
Contratación de la flota vehicular	5,09 ton CO2 eq.	9,54 ton CO2 eq.	16%	30%	1,06 %	
TOTAL	8,62 ton CO2 eq.	13,07 ton CO2 eq.	24,4 %	37 %	1,79 %	2,71 %

ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE PAPELERIA

De acuerdo a Ecodisseny (2006) el ahorro en el consumo de energía entre fabricar papel de fibra virgen o de pasta química y papel reciclado es del 62,5%, y la reducción en la generación de residuos es del 93,3%. Así mismo la compañía Auchan Retail, (2019, pág. 14) afirma que la reducción entre las emisiones procedentes del uso de este dos tipos de papeles es del 27%, el factor de emisión pasa de 0,939 Kg CO_2 eq. /Kg papel, en el caso del papel virgen, a 0,683 Kg CO_2 eq. /Kg papel, en el papel reciclado. Teniendo en cuenta lo anterior, en la aplicación de la primera medida de esta estrategia, si tan solo el 50% del papel que es adquirido y consumido pasa un carácter virgen a reciclado, es decir 305 kg anualmente, se reduciría la huella de carbono derivada por el consumo de papelería en **0,0772 ton CO_2 eq, que representa un porcentaje de reducción del 13,5%, ya que la huella de carbono pasa de ser de 0,572 ton CO_2 eq a ser de 0,794 ton CO_2 eq.**



***Ilustración 37**. Ahorro en consumo de energía de papel de fibra virgen a papel reciclado**. Fuente**: (Ecodisseny, 2006)*

Por otro lado, para las acciones formuladas para la gestión eficiente del recurso papelería mediante la reutilización y la reducción, no se establece un porcentaje exacto de reducción para la huella de carbono, debido a que las medidas están sujetas a la correcta adopción de estas, y al alcance de su implementación, por lo que se considera que no se cuenta con los datos suficientes aún para cuantificar cuanta seria la reducción de la huella de carbono en la aplicaciones de estas acciones.

***Tabla 43.** Reducción de la huella de carbono derivada del consumo de papelería*

ESTRATEGIA	REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DERIVADA DEL CONSUMO DE PAPELERÍA		REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL
Adquisición de papel reciclado	0,0772 ton CO2 eq.	13,5%	0,02 %

ESTRATEGIA PARA LA COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO A PARTIR DE LA REMOCIÓN DE GEI

De acuerdo a la Secretaría Distrital de Ambiente (2015), una de las estrategias implementada con gran frecuencia en las organizaciones como medida de compensación es la implementación de techos verdes o jardines verticales. Sin embargo, aunque es una medida propuesta por la autoridad ambiental de Bogotá, varios autores debaten acerca de si es una medida acertada que permite realmente la reducción de las emisiones de CO_2 generadas mediante la fijación del carbono. Carretero Monteagudo (2013) declara que estas intervenciones enfocadas en la absorción del dióxido de carbono a través de techos verdes o jardines verticales, deben ser aplicadas solo en contextos urbanos de gran densidad y ocupación, donde no exista la posibilidad de crear nuevas zonas verdes, debido a que la capacidad de absorción no resulta ser la suficiente.

De acuerdo a Ramírez & Bolaños (2012) la medida de utilización de especies vivas en estructuras no es suficiente para la captura y retención de CO_2 que se requiere en una ciudad, y se necesitan diversas acciones en los procesos constructivos que permitan la reducción de las emisiones de CO_2. Por su parte, Li y otros (2010) afirman las cubiertas verdes, pueden capturar durante el día la cantidad de CO_2, que cambiaría la concentración de la atmosfera local en solamente un 2%. Aun así, se estima que una cubierta verde de jardín intensiva, tiene la capacidad de absorber 0,04 toneladas de CO_2 por m^2 en cada año (Carretero Monteagudo, 2013).

Con respecto a la absorción del carbono por parte de las plantas sugeridas para el jardín, de acuerdo a Getter, Rowe, Robertson, Cregg & Adresen (2009) las especies de *Sedum spurium y Sedum praealtum* tienen una fijación de carbono por planta aproximada de 0,75 kg C por m^2 anualmente, las especies *Pentalinon luteum y Clitoria ternatea* de acuerdo Carbajal, Rodríguez, Ávila, Rodríguez, & Hernández (2017) pueden fijar anualmente por planta 0,5265 y 0,0856 kg C por m^2 respectivamente, y la especie *Hedera hélix*, al ser del genero de las hiedras puede fijar 0,4485 Kg C por m^2 al año, según lo dicho por Sánchez Quintanilla (2014).

De acuerdo a lo anterior, teniendo en cuenta que un metro cuadrado de geomembrana posee 20 bolsillos, y en cada uno puede ser dispuesta una planta, y que se propuso la disposición de las especies en los porcentajes dados a la tabla 35, según su fijación de carbono, se estima que la fijación total del carbono del jardín con un área aproximada de 143,36 m^2, es de 0,1621 toneladas. Así mismo, considerando el factor de conversión de la IPCC (2006) de carbono a dióxido de carbono equivalente de 44/12 ≈ 3.67, el jardín vertical **tendría la capacidad de fijar 0,594 toneladas de CO_2 eq anualmente, esta cantidad reduciría la huella de carbono total en un porcentaje del 0,12%, ya que la huella pasaría de ser 481,92 a 481,32 ton de CO_2 eq**.

Tabla 44. *Porcentaje de participación de las especies vegetales en el jardín vertical*

Especie Vegetal	Participación	Cubrimiento (M2)
Sedum praealtum	23%	32,256
Sedum spurium	23%	32,256
Pentalinon luteum	23%	32,256
Clitoria ternatea	10%	14,336
Hedera hélix	23%	32,256
Total	100%	143,36

REDUCCIÓN TOTAL DE LA HUELLA DE CARBONO

En la tabla 45 se recopilan el ahorro y la reducción de la huella de carbono en ton CO_2 equivalente que se obtendría en la implementación de cada estrategia formulada anteriormente. En total fueron formuladas 12 estrategias para los 4 componentes participantes de la huella de carbono. Para el consumo de energía eléctrica fueron establecidas 6 estrategias, de las cuales cinco se identifican en la siguiente tabla con su respectivo valor de reducción, en este caso, la estrategia de creación de un sistema de monitoreo de consumo es considerada en la tabla, sin embargo por su carácter, no representa un valor cuantificable de la reducción de consumo.

De la generación de residuos sólidos, fueron diseñadas dos estrategias, enfocadas en la reducción en la fuente y en el manejo integral de estos. El consumo de combustible cuenta con una estrategia focalizada tanto en la reducción del consumo mediante la capacitación de conductores, como en la reducción de emisiones contaminantes a través de la elección de mejores vehículos; el consumo papelería cuenta con una estrategia destinada a la adquisición de recurso papelero y a la reducción de su consumo. Por último, se propuso una estrategia de compensación con el objetivo de también disminuir el valor de la huella de carbono, mediante la fijación de este elemento por las especies vegetales dispuestas en un jardín vertical.

Tabla 45. Reducción de la Huella de Carbono por estrategia.

ESTRATEGIA		PRESUPUESTO (PESOS COL)	CODIGO	REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO TOTAL	
Consumo energía eléctrica	Túneles solares	$ 8.798.000	HC_EE1	0,30 ton CO2 eq.	0,062%
	Baldosas piezoeléctricas	$ 7.382.750	HC_EE2	1,7 Kg CO2 eq.	0,0004%
	Sistema de monitoreo	$8.222.748	HC_EE3	No aplica[3]	
	Sensores de movimiento y luz natural	$6.937.241	HC_EE4	5,73 ton CO2 eq.	1,19%
	Transición a bombillos LED	$ 40.611.700	HC_EE5	15,27 ton CO2 eq.	3,17%
	Control tiempo encendido computadores	$155.285	HC_EE6	1,22 ton CO2 eq.	0,25%
Generación de residuos solidos	Manejo de residuos sólidos	*$ 1.273.300*	*HC_GR1*	*91,53 ton CO2 eq.*	*19%*
	Implementación Compostaje y lombricultura	*$ 19.370.072*	*HC_GR2*	*20,29 ton CO2 eq.*	4,21%
	Implementadas juntas	-	-	108,92 ton CO2 eq.	22,6%
Consumo de combustible	Formación a conductores	La implementación de estas estrategias no requiere de un presupuesto	HC_CC1	3,53 ton CO2 eq.	0,73%
	Contratación de la flota vehicular		HC_CC1	5,09 – 9,54 ton CO2 eq.	1,03 – 0,03%
Consumo de papelería	Adquisición de papel reciclado		HC_CP1	0,0772 ton CO2 eq.	0,02%
Compensación	Implementación jardín vertical	$71.000.000.	HC_MI1	0,594 ton CO2 eq.	0,12%
TOTAL		$163.751.096	-	140,733 – 145,183 ton CO2 eq. (142,958 promedio)	29,20 – 30,12% (29,66%)

Por otro lado, en la siguiente tabla se evidencia el nuevo valor de la huella de carbono que se obtendría en la implementación simultánea de todas las medidas, teniendo en cuenta, solo aquellas en las que fue posible cuantificar el valor estimado de la reducción. En el caso de consumo de combustible, se consideró el mejor escenario posible, que permite una reducción de hasta el 30%.

[3] Se considera esta estrategia como apoyo a la formulación, implementación y evaluación de las demás estrategias propuestas, por lo que no se estima una reducción directa de la huella de carbono

Tabla 46. Huella de Carbono de la FAMARENA con la reducción de las estrategias.

COMPONENTE		HUELLA DE CARBONO (ton CO2 eq)	
		Año 2019	Reducida
Consumo energía eléctrica	Ecuación 20	80,03	57,51
Generación de residuos solidos	Ecuación 21	365,99	257,07
Consumo de combustible	Ecuación 22	35,32	24,48
Consumo de papelería	Ecuación 23	0,57	0,4928
Compensación	Ecuación 24	-	0,594[4]
Huella de carbono total	Ecuación 25	481,92	338,958

A partir la tabla 46, se determinó que la reducción de la huella de carbono de la facultad, con la implementación de todas las medidas simultáneamente sería de 29,66%, lo que brinda un escenario favorable sobre la transición de la universidad hacia la sostenibilidad, iniciando con la reducción de las emisiones de GEI que son generadas en la misma. Este porcentaje de reducción en el valor de la huella de carbono, permite visualizar que las estrategias son viables y acertadas, y que la implementación de varias o todas tendrían un impacto directo sobre el objetivo principal de esta investigación, es decir, la disminución de la huella de carbono, y todo lo que esta implica.

CONCLUSIONES

A partir de este trabajo se determinó la huella de carbono de la Facultad De Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas para el año 2019, por medio de la metodología establecida por la norma internacional ISO 14:064-1, obteniéndose un valor de 481,92 ton CO_2 equivalente, dicho valor se compone de cuatro fuentes emisoras: el consumo de energía eléctrica, el consumo de combustible derivado de las practicas académicas, el consumo de papelería y la generación de residuos sólidos, siendo esta última la que más aporta a la huella de carbono de la facultad (representa un 75,9%).

La facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, presentó una huella de carbono en el año 2016 de 595,285 ton CO2 eq, con una participación del 76% la generación de residuos sólidos, del 20,5% el consumo de combustible derivado de las practicas académicas, y un 3,5% de participación resultante de consumo de energía eléctrica, de papelería y el consumo de combustible resultante del transporte para la capacitación docente. Con respecto a la huella de carbono obtenida por los autores para el año 2019 (481,92 ton CO_2), se obtiene una reducción del 19% de este indicador; se asume que esta se debe al cambio de dinámica estudiantil en el campus, y a la migración de varios proyectos académicos a la nueva sede de la facultad (Bosa Porvenir). Se destaca que la generación de residuos sólidos se mantiene como la mayor influencia en la huella de carbono del campus, considerándose un punto de acción importante a abordar.

Con el fin de mitigar el valor de huella de carbono de la facultad en el año 2019, se formularon 12 estrategias enfocadas a cada una de las fuentes emisoras que fueron identificadas, bajo las cuales se

[4] Se asume este valor como una reducción a la huella de carbono, debido a la fijación de carbono.

obtendría una reducción de 29,66% de la huella de carbono si se implementasen todas simultáneamente, además de que pondría al campus de la universidad un paso más cerca de la sostenibilidad, al usar sistemas de iluminación más eficientes, separar en la fuente los residuos sólidos adecuadamente y exigir altos estándares de calidad ambiental en los procesos bajo los cuales esta tiene control directo, como la contratación de automóviles para el desarrollo de prácticas académicas, y la obtención y utilización de recursos de papelería.

De dichas estrategias, las que representarían una mayor disminución en la huella de carbono son la transición a iluminación LED (reducción de 19,8% de las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica), el manejo de residuos sólidos, más específicamente la separación en la fuente (reducción de 25,01% de las emisiones derivadas de la generación de residuos sólidos), la contratación de flota vehicular que use combustibles más eficientes (reducción entre 16 – 30% de las emisiones debidas al consumo de combustible por las prácticas) y la adquisición de papel reciclado (reducción de 13,5% de las emisiones derivadas del consumo de papelería). Respecto a los costos, si todas las estrategias se implementasen, esto representaría una inversión total de $163.751.096, siendo las más costosas la implementación del jardín vertical ($71.000.000) y la transición a iluminación LED ($ 40.611.700).

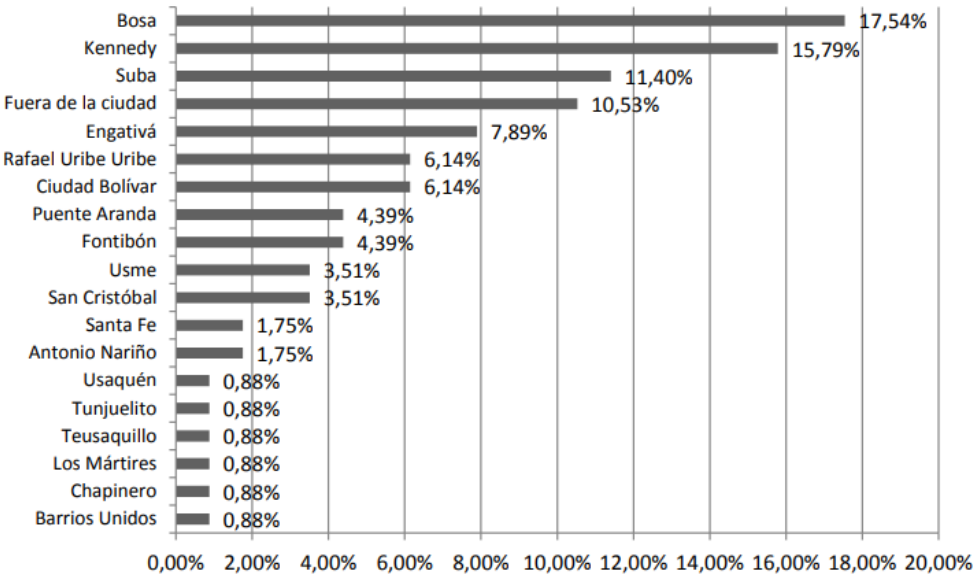
A su vez, se considera que las estrategias son eficientes y logran su objetivo de reducir la huella de carbono de la facultad, dentro de varios enfoques. Se estima que las emisiones generadas por la producción e instalación de cada una de las acciones no supera a las asociadas con las fuentes identificadas, y se justifican con la reducción de la huella de carbono que se obtendrá por su funcionamiento a lo largo del año; por ejemplo, en el caso de la preferencia de vehículos que dispongan en su combustible un cierto porcentaje de biodiesel, este último al ser obtenido de fuentes orgánicas posee un ciclo cerrado de carbono, por lo cual las emisiones provocadas en su combustión son compensadas por su fijación de carbono en la etapa de crecimiento de la etapa vegetal.

La huella de carbono, a consideración de los autores, es el indicador ideal para la cuantificación del impacto ambiental que produce el campus de la facultad en la ejecución de sus operaciones habituales en términos de emisiones de GEI, y que influye directamente en el calentamiento global y la crisis climática actual que se está presentando. Se reconoce la importante de definir este indicador, para diseñar y formular estrategias acertadas que permitan la reducción, corrección y compensación de los impactos provocados por la facultad, que encaminen a la institución adopte poco a poco un modelo sostenible, que pueda ser replicable por más instituciones y la sociedad en general, y que además contribuyan con los compromisos y metas adoptados a nivel nacional en la agenda 2030 referentes a la reducción de emisiones de GEI en un 20%.

RECOMENDACIONES

Como las emisiones derivadas de la movilidad de la comunidad académica para llegar a la facultad es una de las cuales no se encuentra bajo los limites operativos de la institución, es decir que esta no tiene control sobre dichas emisiones, se consideró pertinente proponer como recomendación el desarrollo de campañas de movilidad sostenible, en las cuales se incentive el uso de la bicicleta como medio de transporte; así mismo, como se conoce el porcentaje de estudiantes de la facultad por localidad (ver gráfico 5), se cree conveniente el diseño de puntos de encuentro estratégicos para que los estudiantes que obtén por tomar la bicicleta como medio de transporte puedan generar rutas más seguras por las cuales puedan movilizarse en grupos hacia la universidad y de regreso. Como los puntos de encuentro estratégicos se propone la estación de banderas para los estudiantes de Kennedy, Bosa y Soacha, la avenida caracas con la avenida ciudad de Villavicencio para los estudiantes

de Usme, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, la autopista Norte con Calle 127 para los estudiantes de Suba y Usaquén y la estación El Dorado para los estudiantes de Engativá y Fontibón.



***Gráfica 5**. Porcentaje de origen por localidad de los estudiantes de la FAMARENA - Sede Vivero. **Fuente**: (Oficina Asesora de Planeación y Control, 2018)*

Adicionalmente, se considera que para tener una mayor difusión de los puntos de encuentro y rutas seguras podrían hacerse uso de las redes sociales como Instagram y Facebook, creando una cuenta por medio de la cual se difunda información como los sitios de interés, las horas en las cuales se realizaran los encuentros, las rutas a tomar, entre otros temas de interés.

Con respecto al este mismo factor, se recomienda además de lo anterior, la adopción de un modelo compartido de movilidad con aquellas instituciones u organización que se ubican en cercanías a la facultad, por ejemplo la Universidad Externado, la Universidad de los Andes, o el instituto Roosevelt, con la finalidad de que se dispongan vehículos que puedan transportar a los usuarios hacia sus lugares de destino y se disminuya el uso de otros medios de transporte emisores de GEI; se tienen registros de que esta clase de estrategia permite la disminución en las emisiones de GEI, al promover el uso compartido de los automóviles en vez del uso individual, y al movilizar también, eficientemente en horarios establecidos a todos los usuarios.

Por otro lado, se recomienda que se realice seguimiento a la huella de carbono de la facultad, para saber con exactitud cómo esta aumenta o disminuye con el paso del tiempo y en qué medida son efectivas las estrategias que puedan llegar a desarrollarse para la mitigación de la misma.

Por último, teniendo en cuenta que la remoción de GEI, y por lo tanto la reducción de la huella de carbono, se puede obtener a partir de la fijación de carbono por parte de las especies vegetales, dentro de su ciclo de vida por el proceso de la fotosíntesis, se recomienda, a partir de los datos ya evaluados del inventario forestal de la sede vivero de la facultad en el año 2016, continuar con la investigación de como incrementar y cuantificar la fijación de carbono por parte de las especies vegetales, principalmente arbóreas, presentes en la sede. Se recomienda revisar las fuentes ya descritas en el documento, utilizar la información obtenida por los autores (ANEXO 4), e indagar en el mecanismo ya descrito o en aquellos nuevos métodos que permiten cuantificar la fijación mediante la cantidad de biomasa de las especies.

BIBLIOGRAFÍA

Academia de ciencias exactas, naturales y físicas (ACCEFYN). (2003). *Factores de emisión de los combustibles colombianos.* Bogotá DC.

AECC. (2000). *Response by AECC to European Commission consultation on the need to reduce the sulphur content of petrol & diesel fuels below 50 parts per million.* Bruselas: Association for Emissions Control by Catalyst.

Agatón Aguirre, F. J. (2014). *Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG).* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Agencia Nacional de Tierras. (2018). *Programa de ahorro y uso eficiente del papel.* Obtenido de Administración de Bienes y Servicios: https://www.agenciadetierras.gov.co/wp-content/uploads/2018/11/ADMBS-Plan-006-PROGRAMA-DE-AHORRO-Y-USO-EFICIENTE-DEL-PAPEL.pdf

Agudo, R., Muñoz, M., & del Pino, O. (2005). *Primer inventario de Sumideros de CO2 en Andalucía.* Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales.* Bogotá: Secretaria de Ambiente.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Guía para el cálculo y reporte de la Huella de Carbono Corporativa.* Bogotá: Secretaria Distrital de Ambiente - Subdirección de Políticas y Planes Ambientales.

Alcántara, R., Amores, J., Canoira, L., Hidalgo, E., Franco, M., & Navarro, A. (2000). Catalytic production of biodiesel from soybean oil, used frying oil and tallow. *Biomass & Bioenergy N° 18*, 515-527.

Alshuwaikhat, H., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*.

Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 297-308.

Anzola Parra, D. F. (2015). *Estudio del Manejo de Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario Doña Juana con el fin de delinear un borrador de propuesta para el manejo integral de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá DC.* Bogotá DC: Universidad Colegio Mayor de Nuestra señora del Rosario.

Aponte, H. A. (2017). *Propuesta de estrategias de mitigación a partir del cálculo de la huella de carbono de los campus norte y sur de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A en los años 2014 – 2015.* Bogotá: UDCA.

ASEGRE. (2010). *Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos.* Madrid. Obtenido de https://asegre.com/wp-content/uploads/2017/06/Documento-Protocolo.pdf

Auchan Retail. (2019). *Huella de Carbono.* Obtenido de Auchan RETAIL España: https://www.auchan-retail.es/wp-content/uploads/sites/7/2019/07/HUELLA-DE-CARBONO-2018.pdf

Balkenhol, Castillo, Soto, Feijoo, & Merino. (2018). *Huella de carbono en carbono en el Hospital base de Puerto Montt.* Puerto Montt: Revista médica de Chile.

Barboza, O. (2013). Calentamiento Global: "La máxima expresión de la civilización Petrofósil". *Revista del CESLA núm. 16*, 35-68.

Barreto Córdoba, L., & Sandoval González, A. (2016). *Análisis de viabilidad ambiental, financiera y social de la implementación de los prerrequisitos de la certificación en liderazgo en energía y diseño ambiental (leed) en el edificio natura de La Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales Universidad.* Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Barthelmie, E., Morrie, S., & Schechter, P. (2008). Carbon neutral Biggar: calculating the community carbon footprint and renewable energy options for footprint reduction. *Sustain Sci*, 267-282.

Baumber, A., Luetz, J., & Metternicht, G. (2020). Carbon Neutral Education: Reducing Carbon Footprint and Expanding Carbon Brainprint. En W. Filho, *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (págs. 55-78). Springer Nature Switzerland AG.

Behrentz, E., Espinosa, M., Joya, S., Peña, C., & Prada, A. (2014). *Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial.* Bogotá DC: Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional - Universidad de los Andes.

Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.* Bogotá DC: IDEAM.

Benjumea Mesa, M. S. (2009). *Propuesta para la implementación del sistema LED para la iluminación pública en Antioquia.* Envigado: Escuela de ingeniería de Antioquia.

Biodiversidad virtual. (2020). *Flora*. Obtenido de Biodiversidad virtual plantas: https://www.biodiversidadvirtual.org/herbarium/

Blumberg, K., Walsh, M., & Pera, C. (2003). *Gasolina y Diesel de bajo azufre: La clave para disminuir las emisiones vehiculares.* Versión en español. Obtenido de https://theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf

Bolin, B., Döös, B., Jäger, J., & Warrick, R. (1986). The greenhouse effect, climatic change and ecosystems, International Council of Scientific Unions, Paris (France). *Scientific Committee on Problems of the Environment*, 541.

Bticino. (2012). *CONTROL DE ILUMINACIÓN*. Obtenido de catálogo 2012: https://bticino.com.mx/uploads/8661202a4fdd25e15583d09fc93f8e02.pdf

Bünger, J., Müller, M., Krahl, J., Baum, K., Weigel, A., Hallier, E., & Schulz, T. (2000). Mutagenicity of diesel exhaust particles from two fossil and two plant oil fuels. *Mutagenesis. Volume 15*, 391-397.

CAEM. (2013). *Corporación Ambiental Empresarial*. Obtenido de Cálculo de la Huella de Carbono: http://www.caem.org.co/linea-estrategica-energia-sostenible/calculo-huella-carbono/

Cancela, C. (8 de Agosto de 2018). La gasolina contamina más que el diésel: ¿por qué nos mienten? *El Confidencial*.

CAR. (2013). *Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial.* Obtenido de https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade1b0319769.pdf

Carbajal, J., Rodríguez, A., Ávila, L., Rodríguez, A., & Hernández, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*, 55-61. doi:10.15174/au.2017.1388

Carrasco Leal, J. B. (2015). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la Huella de Carbono Corporativa.* Bogotá DC: Fundación Natura, CAEM, Cámara de Comercio de Bogotá.

Carretero Monteagudo, J. (2013). El uso de las cubiertas verdes como reducción de la huella de carbono por absorción vegetal. Caso de Villaverde. *Territorios en Formación*, 41-57.

Castro, R., & Jabbour, C. (2013). Evaluating sustainability of an Indian university. *Journal of Cleaner Production*.

CCA Coalition. (s.f.). *Potencial de calentamiento global*. Obtenido de HFC Ville: https://www.ccacoalition.org/hfcville/es/global-warming-potentials_es

Centre d'Educació Ambiental de la Comunitat Valenciana. (2015). *Guía didáctica huella de carbono en centros educativos.* Generalitat Valenciana. Obtenido de http://www.agroambient.gva.es/documents/20550103/167446797/CAST_GuiaHC_CentrosEscolares.pdf/d084c534-d1c4-4f0c-a030-c442d65a9681

CEPAL. (s.f.). *Acerca del desarrollo sostenible*. Obtenido de https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible

CHATRON. (2020). *CHATRON.* Obtenido de Tubo solar - Iluminación 100% Natural: https://www.chatron.pt/Imgs/pages/page_146/catalogo_tubosolar_esp_small.pdf

Conde, R., González, O., & Mendieta, E. (2006). *Hacia una gestión sustentable del campus universitario.* Ciudad de México: UAM. Obtenido de http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/93_94_oct_nov_2006/casa_del_tiempo_num93_94_15_25.pdf

Construdata. (2013). *Piezoelectricidad alternativa verde para alumbrado público.* Obtenido de http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/piezoelectricidad_alternativa_verde_para_alumbrado_publico.asp

Coordinación General de Autoevaluación y Acreditación. (2019). *Autoevaluación con fines de renovación de la acreditación institucional.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Coordinación General de Autoevaluación y Acreditación Institucional. (2020). *Estadísticas*. Obtenido de http://autoevaluacionyacreditacion.udistrital.edu.co/estadisticas

Córcoles, J. (2015). *2.3. Sistemas de control en instalaciones interiores*. (U. Jaume, Editor) Obtenido de Eficiencia energética en instalaciones de iluminación: http://hdl.handle.net/10234/171008

Córdoba Lozano, H. P., Romero Sanabria, X. D., & Rueda Fajardo, A. M. (2016). *Análisis de conveniencia para la implementación de la autosostenibilidad ambiental en la sede de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.* Bogotá: Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia (CORPODIB). (s.f.). *Prueba de flota de vehículos usando mezclas de Biodiesel B10, B20, B30 y Biodiesel puro.*

Cuervo Andrade, J. L., Sandoval Duarte, Á., Martínez Ortiz, N., González Wilches, L. P., Torres, A. F., & Sanabria Pinzón, D. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Alcaldía Mayor de Bogotá.

Da Silva, L., Villalva, M., & de Almeida, M. (2018). *Sustainable Campus Model at the University of Campinas—Brazil: An Integrated Living Lab for Renewable Generation, Electric Mobility, Energy Efficiency, Monitoring and Energy Demand Management.* Limeira: Springer International Publishing.

Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Documento CONPES 3874.* Bogotá: DPN.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Documento CONPES 3934.* Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

Díaz Orjuela, D., & Gómez Alba, J. S. (2019). *Prefactibilidad ambiental de sustitución de fuentes energéticas convencionales por baldosas piezoeléctricas para iluminación del parque de Usaquén.* Bogotá: Universidad del Bosque.

Dirección General de Alimentación y Fomento Agroalimentario. (2013). Los árboles frutales como sumideros de CO2 desempeñan un importante servicio ambiental. *Informaciones Técnicas*.

Doll, J. E., & Baranski, M. (2011). GREENHOUSE GAS BASICS. *Climate Change and Agriculture Fact Sheet Series*.

Eclats Antivols. (2020). *TRANSFORMADOR CHASIS ABIERTO 2.4VA 1 X 12V 200MA 112002C*. Obtenido de https://eclats-antivols.fr/es/alimentaciones-ups/21451-transformador-chasis-abierto-24va-1-x-12v-200ma-112002c-9780404654658.html

Ecodisseny. (2006). *El ecodiseño como factor medioambiental en el diseño y desarrollo de productos.*

Ecopetrol. (2019). *Estrategia de combustibles.* Fendipetróleo.

Elecnor. (2018). *Informe de Huella de Carbono 2018.* Madrid: Elecnor SA.

ELECTROPAR. (2019). *SENSOR DE MOVIMIENTO DE TECHO ST07*. Obtenido de https://www.electropar.com.py/sensor-de-movimiento-de-techo-st07-p7341

Enoch, M., & Taylor, J. (2006). A worldwide review of support mechanisms for car clubs. Transp Policy. *Transp Policy*.

Erazo Guzmán, S. A., & Gallegos, W. (2018). *Determinación de la huella de carbono y la huella hídrica en el Instituto Tecnológico Superior SUCRE, Quito, Ecuador: Propuesta de un sistema de mitigación.* Quito: Facultad de Ciencias Ambientales - Instituto Tecnológico Superior.

Estrategia Aragonesa de Cambio Climático y energías limpias. (2012). *Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones.* Obtenido de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/EACCEL_energias_limpias.pdf/5d6160f5-664e-a873-79c3-221d23a53e74

Fajardo Rodríguez, A. X., & Guzmán Muñoz, C. E. (2017). *Calculo de la huella de carbono de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.* Bogotá DC: Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Fangrui, M., & Milford, H. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology N°70*, 1-15. doi:https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5

Faronics. (s.f.). *Faronics Insight*. Obtenido de https://www.faronics.com/assets/PB_Insight_ES.pdf

Faronics. (s.f.). *Faronics Insight Corporate & Government*. Obtenido de https://www.esfaronics.com/tienda/producto/INSPLSN.INRG./1/faronics-insight-corporate-government

FEDEBIOCOMBUSTIBLES. (2020). *Preguntas frecuentes de los biocombustibles*. Obtenido de Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia: https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm

Fernández Losada, M. Y. (2017). *Revisión de Métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en Bosques Naturales.* Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16394/Fen%c3%a1ndezLosadaMagdaYolima2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernández Tabasco, C. (2020). *Muro Verde - Sistema de Contención respetuoso con el Medio Ambiente.* Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA10).

Ferrão, P., & de Matos, M. (2017). *Sustainable Energy Campus: A Challenge on Smart Facilities and Operations.* Lisboa: Springer International Publising.

FUNDACION AQUAE. (2014). *Fundación AGUAE*. Obtenido de Carbono y CO2: https://www.fundacionaquae.org/calculadoras-aquae/calculadora-huella-carbono/

Fundación Laberin. (2005). *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire.* Vasco: IHOBE.

Fundación Natura Colombia, Corporación Ambiental Empresarial, Cámara de Comercio de Bogotá. (2014). *Factores de emisión considerados en la herramienta para el cálculo de huella de carbono corporativo.* Bogotá DC.

García, J. S., & Gonzales Alfaro, F. (2015). *Generación de energía utilizando el efecto piezoeléctrico.* Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Getter, K., Rowe, B., Robertson, P., Cregg, B., & Adresen, J. (2009). Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. *Environmental Science and Technology, 43(19)*, 7564-7570. doi: 10.1021/es901539x

Gobierno de España. (2016). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de Mitigación: políticas y medidas: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx

Gota Terra SAS. (2020). *Paño a medida de su muro*. Obtenido de Todo el resumen en nuestros Jardines Verticales: https://gotaterra.com/p/pano-a-medida/

Greenhouse Gas Protocol. (2015). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.* WORLD RESOURCES INSTITUTE.

Gutiérrez Hernández, M. C. (2014). *Iluminación LED: ahorro, eficiencia e innovación - Proyecto de mejora de la iluminación de un Hotel.* San Cristóbal de la Laguna: Universidad de La Laguna.

Guzmán, D. (1996). Zonas de vida o formaciones Vegetales Área jurisdiccional CAR. *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)*.

Hermosilla Alcaraz, A. (2014). *Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: En Busca de la Ecoeficiencia.* Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Herrera Flórez, H. H. (2015). *Factores de emisión del SIN (Sistema Interconectado Nacional) Colombia.* Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.

Herrero, M. S. (2018). *ODS en Colombia: Los retos para 2030.* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-.

Hogevold, N. (2003). *A corporate effort towards a sustainable business model: a case study from the Norwegian furniture industry.* International Journal of Operations and Production Management.

Holguín Aguirre, M. T. (2015). *Proyecto de inclusión de la dimensión ambiental en la Universidad Libre, como referente para un modelo institucional.* Bogotá: Sistema ambiental académico - Universidad Libre.

Huang, W., Li, F., Cui, S.-h., Huang, L., & Lin, J.-y. (2017). Carbon Footprint and Carbon Emission Reduction of Urban Buildings: A Case in Xiamen City, China. *Procedia Engineering 198*, 1007-1017.

HUICHOL. (28 de Septiembre de 2016). *Preguntas frecuentes sobre los Jardines Verticales*. Obtenido de Jardines verticales: https://www.huichol.com.mx/preguntas-frecuentes-los-jardines-verticales/

ICONTEC. (2017). *Gases efecto invernadero: cuantificación e informe de las emisiones de gases efecto invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la norma ISO 14064-1.* Bogotá: ICONTEC.

IHOBE. (2012). *Guía Metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2016 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones.* Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación.* Madrid: Comité Español de Iluminación. Obtenido de https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/231/Oficinas_opf_files/pdfs/oficinasok2.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2005). *Combustibles y vehículos alternativos. Combustibles y nuevas tecnologías de vehículos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes.* Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera.* Madrid. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf

IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.* Japan: IGES.

IPCC. (2007). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero.* Libro de Trabajo para Inventarios de Gases Efecto Invernadero. *Volumen 2 - Capitulo 2: combustión estacionaria.* IPCC.

IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Japan.

Isla, P. (2017). *Estudio comparativo de la huella de carbono de motores de encendido provocado alimentados con gasolina y bioetanol.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/45573/1/TFG_PATRICIA_ISLA_MARTINEZ.pdf

ISO. (2006). *Online Browsing Platform (OBP)*. Obtenido de ISO 14064 - 1:2006 (ES): https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es

ISO. (2008). *ISO 98-3: 2008. Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995).*

Jabbour, C., Sarkis, J., Sousa, A., & Govindan, K. (2013). Understanding the process of greening of Brazilian business schools. *Journal of Cleaner Production*.

Jiménez, N. (2017). Sistematización del diplomado en Gestión Medioambiental en el campus Morelos de la UNAM. *Congreso Internacional de Educación Currículum 2017 /Año 3, No. 3*, Cuernavaca.

Klaniecki, K., Wuropulos, K., & Persson, C. (2019). Behavior Change for Sustainable Development. En *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education.* Suiza: Springer Nature.

König, A. (2001). Current tasks and challenges for exhaust aftertreatment research. A viewpoint from the automotive industry. *Topics in Catalysis 16/17*, 23-31.

Kuhns, M. (2007). *Landscape trees and global warming.* Utah State University.

Latorre, E., & González, J. (2017). *Campus sostenible: una estrategia para la inclusión de la variabe ambiental en los procesos académicos y administrativos de la universidad contemporánea.* Bogotá: Universidad Libre. Obtenido de http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/5sim/30D.pdf

Li, J., Wai, O., Zhan, Y., Li, Y., HO, Y., & Lam, E. (2010). Effect of green roof on ambient CO2 concentration. *Building and Environment, vol. 45. N°12*, 2644-2651.

Línea Verde Municipal. (s.f.). *Módulo II: Ahorro de papel en la oficina*. Obtenido de Guía Buenas Prácticas Ambientales: http://www.lineaverdemunicipal.com/Guias-buenas-practicas-ambientales/es/e-ahorro-papel-oficina.pdf

Lizarazo, J. S. (2017). *Análisis sistémico de los programas de gestión integral de residuos en la Universidad Nacional de Colombia y lineamientos para el mejoramiento continuo.* Bogotá: Facultad de Ciencias Económicas.

López Benítez, T. (2016). *JARDINES VERTICALES.* Valencia: Universitat Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

López, J., Arias, J., & Quintero, E. (2016). Medidor electrónico interactivo de consumo de energía eléctrica para uso residencial. *Prospect Vol 14. N° 1*, 61-72. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v14n1/v14n1a08.pdf

LUTRON. (s.f.). *Soluciones de ahorro energético de instalación simple y rápida. Presentación de Energi TriPak.* Obtenido de https://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/367-2110_ETP_SP.pdf

MADS. (2020). *Gases Efecto Invernadero*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigaci/gases-efecto-invernadero-2

McPherson, E., & Simpson, J. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters.* Albany, California: United States Department of Agriculture (USDA).

Melo, G. (2018). *Medidas de reducción y mitigación de la huella de carbono en Pontificia Universidad Católica del Ecuador Matriz Quito.* Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Microchip. (s.f.). *PIC12F1840*. Obtenido de https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC12F1840

Minambiente. (27 de 12 de 2019). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - El ambiente es de todos*. Obtenido de Gobierno unifica el código de colores para la separación de residuos sólidos en la fuente a nivel nacional: https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4595-gobierno-unifica-el-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos-en-la-fuente-a-nivel-nacional

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de 04 de 2020). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Huella de Carbono - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/465-plantilla

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Memorias al Congreso de la República.* Bogotá DC: Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Obras Públicas. (sf). *Dirección de Arquitectura.* Obtenido de Manual de diseño pasivo y eficiencia energética: http://arquitectura.mop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif%20Publicos_Parte2.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2011). *Cero papel en la administración pública*. Obtenido de Buenas Prácticas para reducir el consumo de papel: https://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/articles-8257_papel_buenaspracticas.pdf

Ministerio de Transporte. (2005). *Caracterización del Transporte en Colombia: Diagnostico y proyectos de Transporte e Infraestructura.* Bogotá DC: Oficina Asesora de Planeación - Grupo de Planificación Sectorial.

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6) y la infraestructura para su manejo en México.* México D.F. Obtenido de https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2012). *Curso de sensibilización para el ahorro de energía en dependencias y entidades de la Administración Pública Federal.* Ciudad de México. Obtenido de https://energypedia.info/images/d/d1/Curso_de_sensibilizaci%C3%B3n_para_el_ahorro_de_energ%C3%ADa_APF_2012.pdf

Ministerio para la transición ecológica. (s.f.). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización.* Gobierno de España.

Minke, G. (2017). *Muros y fachadas verdes, jardines verticales.* ICARIA: Barcelona.

Mondéjar, M. V., Viñoles, R., Bastante, M. J., Collado, D., & Capuz, S. (2011). La huella de carbono y su utilización en las instituciones universitarias. *XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.* Huesca.

Morras Barrio, L. (2019). *Pisadas que no dejan Huella ¿Es viable producir energía al andar?* Madrid: Universidad politécnica de Madrid.

Oficina Asesora de Planeación y Control. (2016). Cuadro de áreas de ocupación y cantidades de espacios físicos por tipo de espacio y subtipo de espacio por facultad y sede. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Obtenido de Reporte de información escala sede.

Oficina Asesora de Planeación y Control. (2018). *Caracterización de la comunidad estudiantil de pregrado.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

OptimaGrid. (s.f.). *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa.* Obtenido de https://4.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/11268EB8-CE46-5D93-D5CC-6F82D70A6841.pdf

Ortiz Rincón, A. F., & Hostos Ojeda, A. F. (2016). *Cálculo de la huella de carbono para la facultad de artes ASAB de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.* Bogotá DC: FAMARENA.

Osorio Cifuentes, G. E., Guerrero Rodríguez, A., Laguna, A., Perdomo, C., Rojano, J. A., Sabogal, D., Ortiz, O. (2019). *Diagnóstico e identificación de problemas, objetivos y alternativas.* Bogotá: MinVivienda. Obtenido de https://cra.gov.co/documents/AIN-GASES-AJUSTADO-FASE-II-PARA-PUBLICAR.pdf

Pardo Cifuentes, E. (08 de 09 de 2016). *TuboSolar*. Obtenido de Cómo construir un tubo solar casero: https://tubosolar.net/tubo-solar-casero/

Parrado, A., & Trujillo, H. (2015). Universidad y sostenibilidad: una aproximación teórica para su implementación. *AD-minister N° 26*, 149-163.

Pavagen. (2014). *Pavagen*. Obtenido de https://pavegen.com

Pérez López, J. A. (1996). *Introducción a la dirección de empresa: organización humana.* Puira: Universidad de Puira.

Piérola San Miguel, M. A. (2012). *Sistemas adecuados de iluminación natural y ventilación para unidades educativas.* Barcelona: Universidad Internacional de Andalucía.

Pilicita, A., & Cevallos, D. (2019). Innovación tecnológica de un sistema integral para monitorear el consumo eléctrico. *Ingenius. N° 22*, 9-16.

Ramírez, W., & Bolaños, T. (2012). Revisión sobre el papel de los techos verdes en la remoción de carbono atmosférico en el neotrópico. *Revista nodo Nº 12, Vol. 6, Año 6*, 7-18.

Reyes Salazar, D. S., & Panche Caño, L. T. (2019). *Determinación de la huella de carbono de la universidad de la Salle sede Candelaria.* Bogotá: Universidad de la Salle - Ciencia Unisalle.

Rodríguez, Á. R. (sf). *Producción y calidad de Abono orgánico por medio de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) y su capacidad reproductiva.* Honduras: IHCAFE.

Rodríguez, R. M. (2019). Campus Greening and Sustainable Development. En *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education.* Suiza: Springer Nature.

Rojas, N. (2004). Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. *Revista de Ingenieria*, 261-268.

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor - Experiencias en América Latina.* Santiago de Chile: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

RS. (s.f.). *Módulo ZigBee Digi International XB24-Z7WIT-004 +3dBm -96dBm ADC, DIO, UART Serie, WPAN 2.1 → 3.6V dc 32.94 x*. Obtenido de https://es.rs-online.com/web/p/modulos-zigbee/6673005/

Sabogal cruz, M. A. (2015). *Análisis de costo beneficio en la implementación de sistemas de iluminación LED en la construcción de una vivienda multifamiliar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá.* Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Sánchez, M., Pradenas, L., Deschamps, J.-C., & Parada, V. (2015). Reducing the carbon footprint in a vehicle routing problem by pooling resources from different companies. *Springer Science+Business Media New York*, 40 - 43.

Sanchez Quintanilla, V. (2014). *Estimación de captura de CO2 en el edificio naturalizado.* Sevilla, España: Nueva Escuela Politécnica de la Universidad de Sevilla.

Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). *La huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios.* Santiago de Chile: CEPAL - Naciones Unidas.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para el cálculo y reporte de huella de Carbono Corporativa.* Bogotá: PIGA.

Sepúlveda Villada, L. A., & Alvarado Torres, J. A. (2013). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá.* Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

SGA. (17 de 05 de 2018). *Sistema de Gestión Ambiental*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: https://comunidad.udistrital.edu.co/piga/2018/05/17/conoces-el-codigo-de-colores-de-la-ud/

Shaheen, S., Sperling, D., & Wagner, C. (1998). Carsharing in Europe and North America: past, present and future. *Transp Q 52(3)*.

Silva, L. (2005). *Fijación de CO2 por parte de los arboles urbanos. Propuesta para un programa de captura para Bogotá D.C.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

SKYDOM. (2020). *SKYDOM*. Obtenido de Fabricantes de domos: https://www.skydom.com.mx/index.php/productos

SODEAN. (2003). *Potencial de aprovechamiento energético de la biomasa del olivar en Andalucía.* Junta de Andalucía.

Stang, J., Koeberlein, D., & Ruth, M. (2001). *Cummins Light Truck Diesel Engine Progress Report.* Technical Paper Series 2001-01-2065.

Tapia Jopia, C., Olivares Felice, C., & Núñez Parraguez, I. (2014). *Línea Base del Conocimiento Regional sobre las Implicaciones de la Huella de Carbono en los procesos de Toma de Decisiones.* Guayaquil: Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS.

Thompson, I. (2011). *Empresa*. Obtenido de Tipos de Organizaciones: https://www.promonegocios.net/empresa/tipos-organizaciones.html#idc-container

Torres, J., Molina, D., Pinto, C., & Rueda, F. (2002). Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. . *Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 2 Núm. 3*, 71-82.

U.S. Department of Energy. (2014). *Consejos sobre el ahorro de dinero y energía en el hogar.* Energy Efficiency & Renewable Energy. Obtenido de https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/energy_saver_spanish_guide.pdf

UNAM. (2009). *Sistemas de Iluminación.* Ciudad de México: Facultad de ingeniería. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACIÓN.pdf?sequence=4

UNDP. (2012). *Global environment outlook: environment for the future we want (GEO-5).* Nairobi: United Nations Development Programme.

UNDP. (2020). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 13: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html

UNEP. (2014). Transforming universities into green and sustainable campuses: a toolkit for implementers. En *GREENING UNIVERSITIES TOOLKIT V2.0.*

Unión Europea. (2013). *Diario Oficial de la Unión Europea - 2013/179/UE.* Obtenido de GUIA PARA LA HUELLA AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y ORGANIZACIONES: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013H0179

Universitat d'Alacant. (s.f.). *Consumo de energía de los ordenadores.* Alicante.

US Department of Energy. (1998). *An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles.* Paper under task Nº BF886002.

Vallejo Chaverri, A. L., Vallejo Solis, M. Á., Nájera Fernández, J., & Garnier Zamora, L. A. (2017). *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua de la producción bananera.* Roma y San José: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

Vallejo, M., Londoño, A., López, R., Galeano, G., Álvarez, E., & Devia, W. (2005). *Métodos para estudios ecológicos a largo plazo: Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia.* Volumen I.

Vargas, O., & Molina, L. (2014). Arborizaciones urbanas: estrategia para mitigar el calentamiento global. *Revista nodo Nº 16, Vol. 8*, 99-108.

Velázquez, L., Munguia, N., Platt, A., & Taddei, J. (2006). Sustainable university: what can be the matter? *Journal of Cleaner Production*, 810-819.

VELUX. (2019). *VELUX*. Obtenido de Ficha de producto: Tragaluz: https://velcdn.azureedge.net/~/media/marketing/cl/productos/certificaciones-leed/fichas-leed-velux-tunel-solar.pdf

Villalba, D., & Rodríguez, O. (2014). Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Energético en el Campus Rodríguez Lara. *Universidad de Las Fuerzas Armadas*. Obtenido de http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8448/T-ESPEL-EMI-0257-P.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Wackernagel, M., & Rees, M. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth.* Philadelphia: PA and Gabriola Island.

Walker, P., & Medler, S. (2017). Creating a Sustainable Campus from the Ground up. En *Handbook of Theory and Practice of Sustainable Development in Higher Education,* Springer International Publishing AG 2017.

World Agroforestry. (s.f.). *Wood Density*. Obtenido de Tree Functional Attributes and Ecological Dataset: http://db.worldagroforestry.org/

Wormtec. (2020). *ACS712 Sensor Hall Corriente*. Obtenido de https://www.wormtec.com/productos/acs712-sensor-hall-corriente/

Yepes, A., Navarrete, D., Duque, A., Phillips, J., & Álvarez, E. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia.* Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales IDEAM.

Zanne, A. (2009). *Global wood density database.* Obtenido de Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum: https://doi.org/10.5061/dryad.234

Zúñiga Ubillús, D. G. (2013). *Estimación de la huella de carbono del proceso de compostaje y lombricultura de la dirección de gestión ambiental de la ilustre municipalidad de la Pintana.* Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.

ANEXOS

El listado de los anexos propuestos por esta investigación se presenta a continuación y se encuentran, en este mismo orden, en una carpeta adjunta para la consulta de todos los interesados:

- ANEXO 1. Identificación de la zona de estudio
- ANEXO 2. Panfleto de separación en la fuente (Estrategia HC_GR1)
- ANEXO 3. Guía para compostaje y lombricultura
- ANEXO 4. Inventario forestal del campus de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el año 2016