

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR PARA LA MEDICIÓN DE
LA HUELLA DE CARBONO EN EL USO DE LAS TIC EN COLOMBIA.

(Trabajo de Grado)

DIANA CAROLINA MATEUS RINCÓN

Director:

Ing. Gustavo Alonso Chica, Ph.D.(c)

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACIÓN TIC
BOGOTÁ, 2020

AGRADECIMIENTOS

Hoy que Dios y la vida me han permitido alcanzar una nueva meta no puedo dejar de agradecer a todos aquellos que han contribuido para que pueda ser una mujer con ideales, llena de fortaleza para luchar ante cualquier dificultad y jamás darme por vencida.

Después de Dios quiero agradecer a mi hijo que ha llegado a mi vida para darle impulso y haberse convertido en el motor que me mueve cada día. Gracias por llenarme de amor y confianza para llegar lejos. Eres el amor más grande que una mujer puede tener. Tu luz me da fuerza para seguir adelante.

Del mismo modo, no puedo olvidar a mis padres que siempre han estado para mí incondicionalmente. Agradezco y valoro cada sacrificio que han hecho para que logre mis objetivos. Siempre serán mi soporte y mi ejemplo. Gracias por estar ahí dándome ánimo, apoyando mis decisiones. Con su amor me han enseñado a no rendirme jamás.

También quiero darle las gracias a mi ALMA MATER, La Universidad Santo Tomás, por hacer de mí una mujer emprendedora, capaz de cambiar la sociedad, gracias a los valores que me ha ayudado a fortalecer. Sus enseñanzas me han mostrado como el trabajo honesto y resiliente puede tener un impacto social positivo, que ayude a disminuir la brecha social que tanto genera desigualdad en este país.

Por último y no menos importante, quiero agradecer al Ingeniero Gustavo Chica que, con su paciencia, su disponibilidad, sus enseñanzas y su apoyo me han permitido llegar a este punto. Gracias por estar siempre atento y dispuesto para asesorar este trabajo de grado.

CONTENIDO

ACRÓNIMOS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO	11
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3.3 Alcance.....	13
2. ESTADO ACTUAL DE LA MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO	15
2.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	15
2.2. METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO	20
2.2.1 GHG Protocol.....	20
2.2.2 Bilan Carbone.....	25
2.2.3 PAS 2050:2007	27
2.2.4 PAS 2060:2010.....	28
2.2.5 MC3 – Método Compuesto de las Cuentas Contables	30
2.2.6 CARROT	31
2.2.7 CARBONE IMPACT	32
2.2.8 UMBERTO.....	32
2.2.9 CO2 NAVIGATOR	33
2.2.10 EMISSIONS LOGIC	33

2.3	CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS ANALIZADAS.....	33
3.	ASPECTO REGULATORIO SOBRE LA HUELLA DE CARBONO.....	36
3.1	ESTÁNDARES INTERNACIONALES.....	36
3.1.1	LA RED ISO 14064 - 14069.....	36
3.1.2	OTRAS GUÍAS DE REFERENCIA:.....	39
3.1.3	NORMATIVIDAD Y REGULACIÓN EN COLOMBIA:.....	40
3.2	ESFUERZOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	53
4.	DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL USO DE LAS TIC EN COLOMBIA	60
4.1	LA TOMA DE DECISIONES.....	60
4.2	LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO	62
4.3	DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA MEDIR LA HUELLA DE CARBONO EN EL USO DE LAS TIC EN COLOMBIA.....	67
5.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA SELECCIÓN REALIZADA.	82
5.1	MODELO JERÁRQUICO	82
5.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	85
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1	CONCLUSIONES.....	96
6.2	RECOMENDACIONES.....	98
	REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.

ACRÓNIMOS

ACV:	Análisis Ciclo de Vida
AFNOR:	Asociación Francesa de Normalización
AHP:	Analityc Hierachy Process
CREs:	Certificados de reducciones de emisiones
CFS:	Carbon Footprint System
CMNUCC:	Convencion Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático
CO2:	Dióxido de Carbono
DEFRA:	Departament For Enviroment, Food and Rural Affairs
EPEA:	Asociación de Empresarios Productores Ecológicos de Andalucía
FIA:	Fondo de Innovación Agraria
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IAF:	Internacional de Acreditación de Organismo de Verificación
INE:	Instituto Nacional de Ecología
ISO:	International Standard Association
MDL:	Mecanismo de Desarrollo Limpio
ONAC:	Organismo Nacional de Acreditación Colombiana
PAJ:	Proceso analítico Jerárquico
PECC:	Programa Especial Cambio Climático
PK:	Protocolo de Kioto
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SEMARNAT:	Secretaria de Medio Ambiente y recursos naturales
VP:	Vector Prioridad
TIC:	Tecnologías De la Información y la Comunicación

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Protocolo GHG. Fuente [4].	21
Figura 2.2. Sistema de gestión de la calidad del inventario. Fuente: [4]	22
Figura 2.3. Tipos de emisiones y conceptualización de cada uno. Fuente: [4].	23
Figura 3.1. Estandares Internacionales. Fuente [12]	36
Figura 4.1. Jerarquía del modelo AHP. Adaptado de [59].	64
Figura 4.1. Pasos para la Toma de Decisiones. Fuente Autor	68
Figura 5.1. Árbol jerárquico. Fuente: Simulador.	82
Figura 5.2. Pesos de los Niveles y Subniveles en el Expert Choice. Fuente: Simulador ..	83
Figura 5.3. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador	84
Figura 5.4. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador	84
Figura 5.5. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador	85
Figura 5.6. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador	86
Figura 5.7. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador	86
Figura 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Geopolítico. Fuente: Simulador	87
Figura 5.9. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador	87
Figura 5.10. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador	89
Figura 5.11. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador	89
Figura 5.12. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Geopolítico. Fuente: Simulador	90
Figura 5.13. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador	90
Figura 5.14. GHG PROTOCOL VS BILAN CARBONE. Fuente: Software	92
Figura 5.15. GHG PROTOCOL VS PAS 2050. Fuente: Software	92
Figura 5.16. GHG PROTOCOL VS PAS 2060. Fuente: Software	93
Figura 5.17. GHG PROTOCOL VS MC3. Fuente: Software	93
Figura 5.18. BILAN CARBONE vs PAS 2050. Fuente: Software	94
Figura 5.19. BILAN CARBONE vs PAS 2060. Fuente: Software	94
Figura 5.20. BILAN CARBONE vs MC3. Fuente: Software	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Potencial de calentamiento global para los GEI	16
Tabla 2-2. Fuentes de emisión de GEI	17
Tabla 2-3. Cuadro Comparativo de las Metodologías Analizadas	34
Tabla 3-1. Principios UNE-EN ISO 14.064. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 3-2. La organización de los países (legislación, estrategias, políticas, plan y programas estatales). Fuente: [43].....	50
Tabla 4-1. Tabla de valoración directa de Saaty [76].	65
Tabla 4-2. RIA en función del número de elementos valorados por nivel (n) [75].	66
Tabla 4-3. Matriz de dominancia.....	72
Tabla 4-4. Matriz de dominancia con índices de dominancia	73
Tabla 4-5. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles	74
Tabla 4-6. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Tecnológico.....	74
Tabla 4-7. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico	75
Tabla 4-8. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental	75
Tabla 4-9. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Geopolítico	76
Tabla 4-10. Matriz de Decisión (Normalizada por la suma)	77
Tabla 4-11. Matriz de Decisión (Normalizada por el mayor valor)	78
Tabla 4-12. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo).....	79
Tabla 4-13. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal).....	80
Tabla 5-1. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10%.....	88
Tabla 5-2. Análisis de Sensibilidad para el Modo Distributivo > a 10%.....	91

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito realizar un análisis que permita seleccionar la metodología de medición de huella de carbono en el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC). El análisis desarrollado en este documento aborda de manera general las diferentes metodologías y herramientas que han venido siendo utilizadas para cuantificar las emisiones de gases de invernadero (GEI), resaltando sus principales características y enfocándose en aquellas que, gracias a la revisión bibliográfica y a la opinión de expertos, han sido identificadas como las más relevantes para ser implementadas como herramientas de medición de las emisiones GEI en el sector de las TIC en Colombia.

La metodología desarrollada, contempla el uso de herramientas matemáticas de toma de decisiones multi-criterio, específicamente aquellas que hacen referencia a la aplicación del proceso analítico jerárquico (PAJ), a través de las cuales es posible caracterizar de una forma muy puntual y funcional cada una de las metodologías evaluadas, de forma tal, que es posible mediante comparaciones directas, encontrar aquella que satisface de una mejor forma las necesidades puntuales en términos de cuantificación de emisiones en el sector TIC en Colombia. Un análisis de sensibilidad realizado al final, permite confirmar la robustez de los resultados, lo cual toma especial importancia al momento de argumentar el porqué de la selección realizada.

PALABRAS CLAVES

Multicriterio, PAJ, Huella de Carbono.

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos la humanidad se ha enfrentado a varios retos ambientales y a la forma que se encuentra el planeta, debido a esto, se ha venido mostrando alrededor del mundo los problemas medioambientales, convirtiéndose en un elemento del marketing y la comunicación. Actualmente uno de los grandes desafíos es el calentamiento global como consecuencia de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), lo cual ha llevado a la implementación de mecanismos para su reducción.

Uno de los elementos que se ha venido generalizando en la sociedad es la huella del carbono, la cual se ha convertido en una guía para los países que tienen como objetivo reducir los índices de GEI. En la actualidad las emisiones GEI están en aumento, causando un mayor incremento del calentamiento global. Este incremento de emisiones, proviene de las actividades humanas, lo que convierte a toda la sociedad como responsable del consecuente cambio climático.

Para atacar esta problemática, el primer paso que se debe dar es encontrar una forma de poder cuantificar la cantidad de emisiones GEI que se están produciendo y adquirir una actitud más responsable para transmitírsela a las industrias, con el fin de reducir el impacto negativo sobre el planeta. En busca de esa forma de cuantificar las emisiones, se han creado algunas metodologías que ayudan a determinar el nivel de emisiones GEI, sin embargo, cada una de estas metodologías tiene sus particularidades, según las necesidades que llevaron a su creación y a sus objetivos particulares.

Por lo anterior, en la búsqueda de herramientas que proporcionen una forma de determinar la forma de medir las emisiones de GEI en la industria de las Telecomunicaciones, este trabajo propone hacer una revisión de las metodologías que ayudan a cuantificar la medición de la huella de carbono, e intenta proponer, con la ayuda de expertos, cuál de ellas es la que más se ajusta al entorno de las Telecomunicaciones.

Este documento se desarrolla de la siguiente manera, en el capítulo uno se contextualiza el trabajo mediante la descripción del título, planteamiento del problema, objetivos y el alcance proyectado. El capítulo dos, muestra el marco referencial de las metodologías existentes para la medición de huella de carbono, donde se realiza un estudio comparativo

entre las más representativas que se utilizan actualmente. El capítulo tres, especifica los esfuerzos que en materia normativa se han hecho para regular las emisiones de gases de efecto de invernadero. El capítulo cuatro, a través del desarrollo del método analítico jerárquico, especifica la forma de poder determinar la metodología a implementar para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia. En el capítulo cinco, se realiza un análisis de sensibilidad a los resultados encontrados en el capítulo cuatro. Finalmente, en el capítulo seis se muestran las conclusiones del trabajo y algunas recomendaciones generales.

1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

Este proyecto realiza la selección de la metodología para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia, mediante la elaboración de un análisis de toma de decisiones multi-criterio utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ). En el transcurso del documento se evidenciará el desarrollo de los objetivos planteados y que corresponden al trabajo desarrollado para optar al título de Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones y Regulación TIC de la Universidad Santo Tomás.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este primer capítulo se propone contextualizar el trabajo, mediante la descripción del título, planteamiento del problema, objetivos y el alcance proyectado.

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

Estudio y Selección de la metodología a utilizar para la medición de la Huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años han surgido importantes desafíos ambientales en todo el mundo enfocados en la búsqueda de estrategias para controlar el calentamiento global. Algunos esfuerzos Gubernamentales han incentivado en poco tiempo que, en países como Francia, Brasil, Chile, entre otros, el medio ambiente se haya convertido en un actor importante en donde el reto de controlar las emisiones de gases de efecto de invernadero, ha fomentado el surgimiento de mecanismos de mercantilización para su correspondiente mitigación [11].

En la actualidad, el cambio climático y el efecto de invernadero se ven influenciados por las emisiones de CO₂ que se hacen al medio ambiente. El uso de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicaciones), a pesar de hacer la vida mucho más fácil y de brindar aportes significativos a la ciencia, genera gran cantidad de desechos tecnológicos.

En ese sentido, hay que tener en cuenta que muchas de las economías de los países de América Latina se basan en la exportación de materias primas o productos elaborados hacia países desarrollados, por lo que están descubriendo estos nuevos factores de

mercado que, además de tener una motivación ecológica, traen consigo consecuencias sobre los intercambios Internacionales.

Teniendo en cuenta lo anterior, los entes involucrados en el desarrollo y uso de las Telecomunicaciones, necesitan acoger planes estratégicos y realizar implementaciones rápidas y eficaces para aminorar el impacto negativo que estas generan para el medio ambiente. En ese contexto, se han desarrollado algunos estándares y marcos metodológicos que buscan ayudar a determinar la manera de medir la huella de carbono, buscando estrategias que logren aportar a su reducción, pero que todavía no se han logrado armonizar. Por tal razón esta investigación propone responder la siguiente pregunta problema:

¿Cuál es la metodología para medir la huella de carbono en el uso de las TIC, desde el punto de vista ambiental, social, regulatorio y económico?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar la metodología de medición de huella de carbono en el uso de las TIC, para proponer su uso en Colombia, mediante la realización de un análisis de toma de decisiones multicriterio por el método jerárquico PAJ.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el estado actual de las metodologías de medición de huella de carbono en el uso de las TIC, a través de la elaboración de un cuadro comparativo entre las metodologías identificadas.
2. Establecer desde el punto de vista regulatorio los esfuerzos e incentivos relacionados con la disminución de la huella de carbono en el sector de las Telecomunicaciones, tanto a nivel Mundial, como a nivel Nacional.
3. Determinar cuál debe ser la metodología para medir la huella de carbono en el uso de las TIC, mediante el uso de toma de decisiones multicriterio por el método jerárquico PAJ.

4. Validar la selección de la metodología mediante un análisis de sensibilidad a través del software Expert Choice.

1.3.3 Alcance

Las Telecomunicaciones y las nuevas empresas productoras de equipos tecnológicos generan consecuencias negativas debido al aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, es por esto que, las telecomunicaciones no se pueden alejar de este tema tan importante y de alto impacto ambiental.

Debido a esto, se propone la identificación de la metodología de medición de huella de carbono, que mejor satisfaga requerimientos desde el punto de vista ambiental, social, regulatorio y económico, y a su vez se enmarque en la actualidad de un país como Colombia. Por lo anterior, este proyecto propone la aplicación de un método de toma de decisiones multicriterio denominado “Proceso Analítico Jerárquico” ó (PAJ), para identificar las variables y criterios que hacen parte de un estudio que presenta un elevado nivel de complejidad.

Para realizar este proceso se proponen los siguientes entregables:

- Un cuadro comparativo de las metodologías identificadas
- La identificación de esfuerzos e incentivos relacionados con la disminución de la huella de carbono en el sector de las Telecomunicaciones, tanto a nivel Mundial, como a nivel Nacional.
- Formulación del modelo jerárquico necesario para aplicar el PAJ, esto implica la identificación de diferentes niveles de prioridad (criterios, subcriterios y alternativas) y sus correspondientes pesos. Todo esto desde el punto de vista económico, técnico, ambiental, regulatorio y geopolítico.
- Selección de la metodología de huella de carbono teniendo en cuenta lo hecho en el paso anterior.

- Variación de los pesos de los criterios que hacen parte del modelo jerárquico y la correspondiente validación sobre las alternativas seleccionadas (análisis de sensibilidad a los resultados obtenidos).

2. ESTADO ACTUAL DE LA MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO

A través de este capítulo, se pretende identificar el estado actual de las metodologías utilizadas para la medición de la huella de carbono. A continuación, se hace una breve contextualización, en donde se describen los conceptos más representativos relacionados con la huella de carbono, para después conocer con más profundidad las metodologías que se han venido utilizando para cuantificar las emisiones de gases de efecto de invernadero hasta el momento.

2.1. CONTEXTUALIZACIÓN

La Huella de carbono es un indicador ambiental definido como la suma absoluta de todas las emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI). El GEI es causado directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. Es decir, la huella de carbono se puede entender como la marca que se deja sobre el medio ambiente con cada actividad que emite gases de efecto invernadero.

La huella de carbono se expresa en unidades de carbono equivalente (CO_2eq). Se utiliza esta unidad, pues la Huella de Carbono va más allá de la medición única del CO_2 emitido, ya que tienen en cuenta todos los GEI que contribuyen en el calentamiento global para después convertir los resultados individuales de cada gas a equivalentes de CO_2 [1].

Para poder cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, en el año 2001, se dio a conocer el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), por parte del Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable y a su vez, por el Instituto de Recursos Mundiales. Esto se dio gracias a la unión de entidades no-gubernamentales, empresas y gobiernos sin ánimo de lucro [2]. Desde su inicio, el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero ha logrado tener un impacto positivo en todo el mundo, logrando ser incluido en el estándar ISO 14064, el cual se encarga de apoyar la construcción de reportes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que se dan en las compañías y los procesos que se deberían realizar para mitigar en gran medida estos mismo [3], de igual manera en el capítulo 3 se encuentra de una manera mas específica y sus normas.

Los GEI son aquellos gases como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano entre otros, que se quedan atrapados en la atmósfera de la tierra sin poder salir de ella, por lo que causan

que la temperatura del medio ambiente aumente bastante y se produzca el calentamiento global [4]. Este fenómeno, se produce como consecuencia de la alteración del comportamiento del clima, y se ve reflejado sobre parámetros climáticos tales como la temperatura, la precipitación, la nubosidad entre otros.

Normalmente, el calentamiento global está asociado con el término “efecto invernadero” y los gases que lo generan. El efecto invernadero tiene un origen natural que es necesario para preservar la vida en el planeta ya que la atmósfera está compuesta por gases que absorben parte de la radiación procedente del sol, ayudando a mantener las temperaturas sobre la tierra alrededor de los 30 °C. El problema radica en que el aumento de las concentraciones de estos gases en la atmósfera, generan a su vez un incremento en la temperatura actual en el planeta [4].

La principal causa del calentamiento global se concentra en el aumento de dióxido de carbono que es provocado por el uso de combustibles fósiles. Actualmente las concentraciones de gases de efecto invernadero es de aproximadamente 430 ppm CO₂, lo que ha generado un incremento en la temperatura de la tierra de alrededor de 0.5 °C [4].

Dentro de los gases que generan el aumento del calentamiento global, el más conocido es el dióxido de carbono, otros gases como el óxido nitroso, el metano, perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre, también causan este efecto.

El efecto de cada gas sobre el calentamiento global depende de la concentración en la que se encuentre en la atmósfera, a mayor potencial de calentamiento, mayor efecto tiene el gas liberado en la atmósfera. La tabla 2.1 muestra el potencial de calentamiento global para los gases de efecto de invernadero [4].

Tabla 2-1. Potencial de calentamiento global para los GEI

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21-23
Óxido nitroso (N ₂ O)	230-310
Perfluorocarbonos ((PFC)	5.700-11.900
Hidrofluorocarbonos (HFC)	13.000-14.000
Hexafluoruro de carbono (SF ₆)	23.000

Las emisiones de estos gases se pueden clasificar en dos grupos:

1. Emisiones directas: son aquellas asociadas a una actividad o proceso generado dentro de una organización o sobre la que existe un control total.
2. Emisiones indirectas: son las emisiones generadas como resultado de acciones o actividades de la organización en donde no se dispone de ningún control. Se dividen a su vez en dos grupos:
 - Indirectas tipo II: es aquella que se deriva de la utilización de energía eléctrica (central eléctrica, para la producción de energía)
 - indirectas tipo III: son las que se derivan a los productos y servicios de una organización (transporte de materias primas para la producción de un producto)

La tabla 2.2 muestra una relación entre los sectores económicos y las fuentes de emisión que a su vez se asocian a la producción de gases de efecto de invernadero [4].

Tabla 2-2. Fuentes de emisión de GEI

Sector	Fuente de emisión	GEI
Residencial	Consumos de combustibles y electricidad	CO ₂
Servicios	Consumos de combustibles y electricidad	CO ₂
Industria	Consumos de combustibles y emisiones de proceso	CO ₂ , CFC, HFC y SF ₆
Agrario	Utilización de fertilizantes sintéticos, fermentación entérica del ganado, gestión de estiércoles y uso de maquinaria agrícola.	CO ₂ , N ₂ O y CH ₄
Transporte	Consumos de combustible	CO ₂
Residuos	Descomposición de materia orgánica en vertederos, incineración de residuos y transporte.	CO ₂ y CH ₄
Sumideros	Cambios de uso en el suelo.	CO ₂

Efectos del cambio climático

Los fenómenos que en la actualidad muestran los cambios en los patrones del clima son:

- Aumento de la temperatura media global entre 1850 y 2005 aproximadamente 0.76 °C
- disminución de la cubierta de nieve y glaciares de montaña.
- Aumento de la temperatura de los océanos.

Se tiene previsto que a medida que se incremente las emisiones de gases invernadero también aumenten los impactos climáticos tales como:

- Aumento del proceso de desertificación de zonas continentales interiores.
- Extinción de especies vegetales y animales.
- Aumento del nivel del mar de 9 a 88 centímetros
- cambios en procesos meteorológicos de manera extrema
- aumento de enfermedades tropicales

Estos impactos climáticos afectan negativamente varios ecosistemas naturales y de esta forma indirectamente afectan al ser humano. Los cambios climáticos afectan sectores como la agricultura, la pesca, la ganadería o turismo. Estas afectaciones de temperatura generan y propagan transmisores de enfermedades que ponen en riesgo la salud humana, el cambio climático afecta considerablemente la estabilidad de los ecosistemas urbanos.

Estos procesos negativos generan costos económicos para los diferentes sectores económicos, por lo tanto, surge la necesidad de realizar inversiones y planificar la forma de minimizar impactos derivados de la ocurrencia de los fenómenos climáticos y así evitar costes más altos en el futuro.

Ante los innegables efectos del cambio climático se hace necesario tomar medidas para evitar efectos negativos, y para esto es muy importante conocer las contribuciones de cada agente contaminante con relación a sus emisiones.

Existen dos formas de realizar el cálculo de emisiones:

1. A través de un inventario de emisiones que permitan la contabilización de las emisiones de gases contaminantes y que incluye las emisiones derivadas de los consumos de combustibles fósiles o el transporte.
2. A través de la huella de carbono que permite analizar puntualmente las emisiones de un sector en particular y desde una óptica de análisis de ciclo de vida.

Por otra parte, las principales etapas en el cálculo de la huella de carbono son [4]:

1. Eficacia de la Huella de Carbono: Aquí se lleva a cabo el análisis de las instalaciones y la infraestructura de la empresa y los alcances que podrá llegar a tener la huella de carbono y a la vez identificar los distintos tipos de emisiones que genera la empresa y caracterizarlos en emisiones directas o indirectas.
2. Recolección de datos: Aquí se recogen los datos obtenidos de la investigación sobre las actividades que realiza la empresa, los cuales creen un consumo de recursos como energía o medios de transporte que generen GEI. Todo esto teniendo en cuenta los principios de GHG (Green House Gas) para un cálculo mucho más preciso.
3. Parametrización de las emisiones encontradas: Se toman los datos obtenidos anteriormente y se hace un relacionamiento entre los datos encontrados y aquellos factores de emisión que se hayan determinado para cada alcance de la huella de carbono y así poder obtener la cantidad de GEI que se emiten.
4. Resultados finales: Los datos obtenidos a partir de la investigación no solo ayudan a conocer el nivel de impacto ambiental que puede estar generando en la empresa, sino también, que procesos o actividades son las que generan más emisiones de GEI y que servicios o productos están generando un consumo mayor de energías y por lo tanto una mayor cantidad de emisión de GEI en la atmosfera. Estos datos finales deben ser dados a conocer tanto dentro como fuera de la empresa y tener un reporte de cada uno ellos.
5. Tácticas de mejoramiento: Cuando ya se tenga un reporte claro de que actividades o en que situaciones la empresa está emitiendo GEI, se empiezan a crear tácticas de mejoramiento que ayuden a mitigar o reducir las emisiones de estos mismos.

2.2. METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO

A continuación, se describen a nivel general varias de las metodologías utilizadas para medir la huella de carbono.

2.2.1 GHG Protocol

EL GHG Protocol (Green House Gas Protocol), surge de la unión de varias compañías, entidades del gobierno y sectores privados para facilitar una metodología que se encargue de llevar un conteo y reporte de los GEI siguiendo una serie de herramientas. Estas entidades se coordinan gracias al Consejo Mundial Empresarial y la WRI – World Resources Institute [5], [6].

Dentro de esta metodología, se han abarcado dos ámbitos [7]:

- El corporativo como su nombre lo indica, se refleja en las corporaciones que quieran o necesiten de un método de contabilidad de sus emisiones en la atmosfera.
- El cuantificativo por su parte se usa más como una serie de procesos para realizar una correcta cuantificación de los GEI que se generen en proyectos hechos por las compañías.

Los informes de GHG Protocol sobre Gases de Efecto Invernadero (GEI) se fundamentan en los siguientes principios [6] [7]:

- Consistencia: Usa metodologías que permiten comparar las emisiones y registrar de forma transparente los cambios que se presenten en cualquier factor relevante en una serie de tiempo.
- Integridad: Abarca todas las actividades y fuentes de emisión de GEI que se incluyen en los reportes. La exclusión de cualquier factor se debe justifica.
- Transparencia: Realiza seguimientos basados en auditoría transparente lo cual permite revelar los supuestos de importancia con referencia a las metodologías de contabilidad y cálculo, al igual que las fuentes de información utilizadas.

- **Precisión:** Consolida la cuantificación de emisiones de GEI ante posibles errores de evaluación con respecto a emisiones reales y procura reducir la incertidumbre máximo posible y así adquirir confianza de la plenitud de la información reportada.
- **Relevancia:** Garantiza que las mediciones de GEI de una empresa en los que intervienen usuarios internos y externos evidencien de manera oportuna el objetivo al momento de la toma de decisiones.

A su vez, esta metodología se basa en 5 procesos claves para llevarse a cabo:

1. Definir límites de organización.
2. Definir límites de operación.
3. Llevar un seguimiento de las emisiones.
4. Calcular las emisiones.
5. Llevar un control del inventario.

En los dos primeros procesos se nombran las fuentes donde se están emitiendo los GEI y que son necesarias para tener en cuenta dentro del cálculo de la huella de carbono. Esta metodología se basa en 3 tipos de alcances, y para cada uno se tiene establecido un nombre, en el alcance uno está las emisiones directas, para el alcance 2, las emisiones indirectas y para el alcance 3 las emisiones indirectas diferenciales.

El GHG protocol, sigue un protocolo que permite cuantificar las emisiones de GEI, este protocolo se observa en la Figura 2.1.

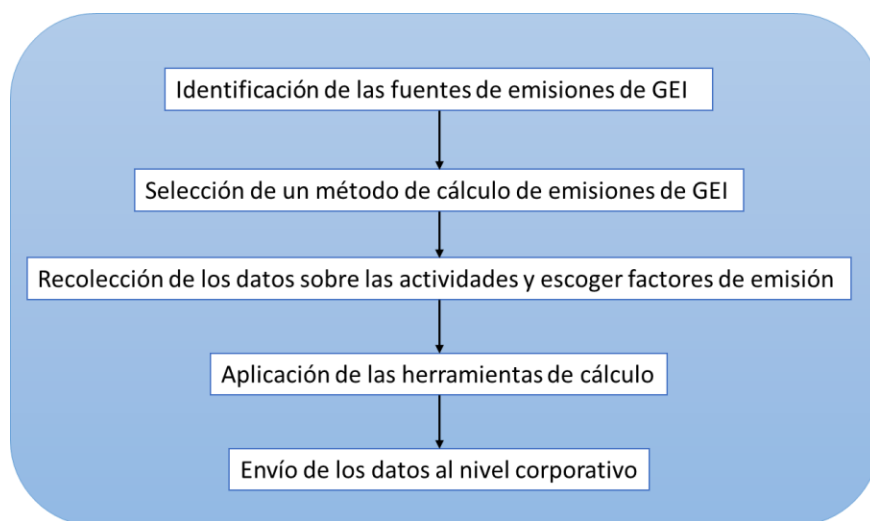


Figura 2.1. Protocolo GHG. Fuente [4].

Esta metodología propone la realización de las siguientes actividades:

- Calcular las emisiones de GEI: Dentro de las emisiones que correspondan al alcance 1 y 2 están las emisiones que se generan por procesos directos de producción en la empresa y las emisiones que se generan dependiendo de uso que se le da a la electricidad y consumo de energía de la empresa que genere calor o vapor directo a la atmosfera.
- Recolectar los datos de emisiones: las emisiones Alcance 1, se calculan teniendo en cuenta las cantidades de combustibles utilizadas por parte de la empresa. A su vez, las emisiones de alcance 2, se calculan teniendo en cuenta el consumo de electricidad.
- Herramientas para el cálculo: Afortunadamente esta metodología cuenta con una página web **www.ghgprotocol.org** donde es posible encontrar las dos tipologías para el cálculo: intersectoriales, aplicables a empresas e industrias del sector y sectoriales, personalizada para países en desarrollo.
- Recolección de la data: Se deben hacer uso de tablas o medios de computación de reportes para las emisiones encontradas y así tener un seguimiento y control del reporte de resultados mucho más óptimo y disminuir los índices de error.

Estas actividades tienen como soporte un sistema de gestión de calidad de inventario, como se aprecia en la Figura 2.2.

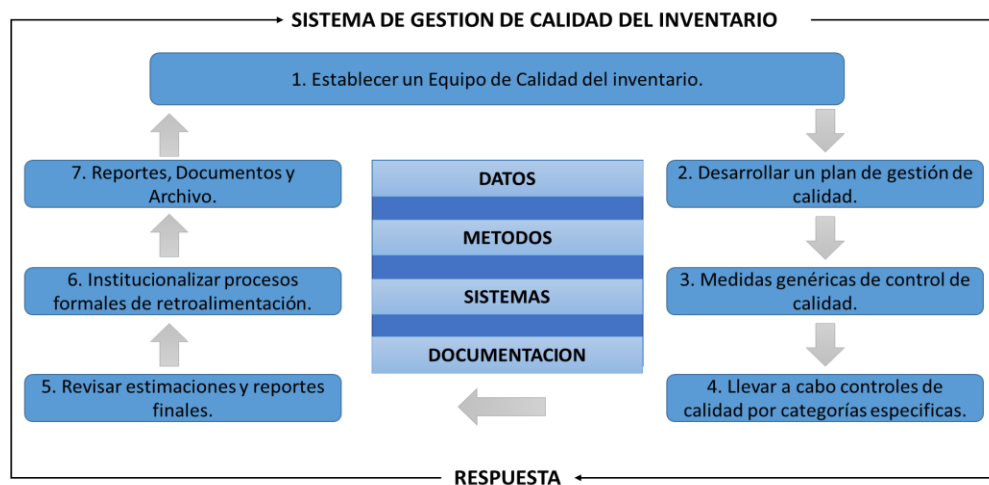


Figura 2.2. Sistema de gestión de la calidad del inventario. Fuente: [4]

Como se observa, esta metodología está mucho más enfocada en el apoyo a la fabricación de inventarios de GEI que luego podrán tener en cuenta las empresas para sus reportes o proyectos futuros y así poder contribuir a la disminución de su propia huella de carbono. Además, no solo se puede usar esta metodología en las corporaciones sino también en todo tipo de compañías, sean grandes, medianas o pequeñas, independientemente de la cantidad de huella de carbono generada.

Por otra parte, para el caso del alcance 3, también conocido como el alcance de las emisiones indirectas, orientado a el análisis de aquellas emisiones sobre las cuales la empresa no es responsable directamente, a pesar de que son generadas en alguna parte del proceso que se necesita para que la empresa funcione adecuadamente, por ejemplo, la fabricación o extracción de los insumos para sus productos o los viajes empresariales realizados para concretar negocios.

Al ser estas emisiones casi que incontrolables o que se dan sin querer muchas veces dentro de la empresa, al momento de llevar su conteo, se deben tomar únicamente las que en realidad generen un factor considerable de emisión de GEI dentro de la atmósfera y especificar dentro del informe de resultados, el por qué no se toman en cuenta otras emisiones o procesos de emisión. En este sentido, la Figura 2.3 resume los diferentes tipos de emisiones con su correspondiente conceptualización.

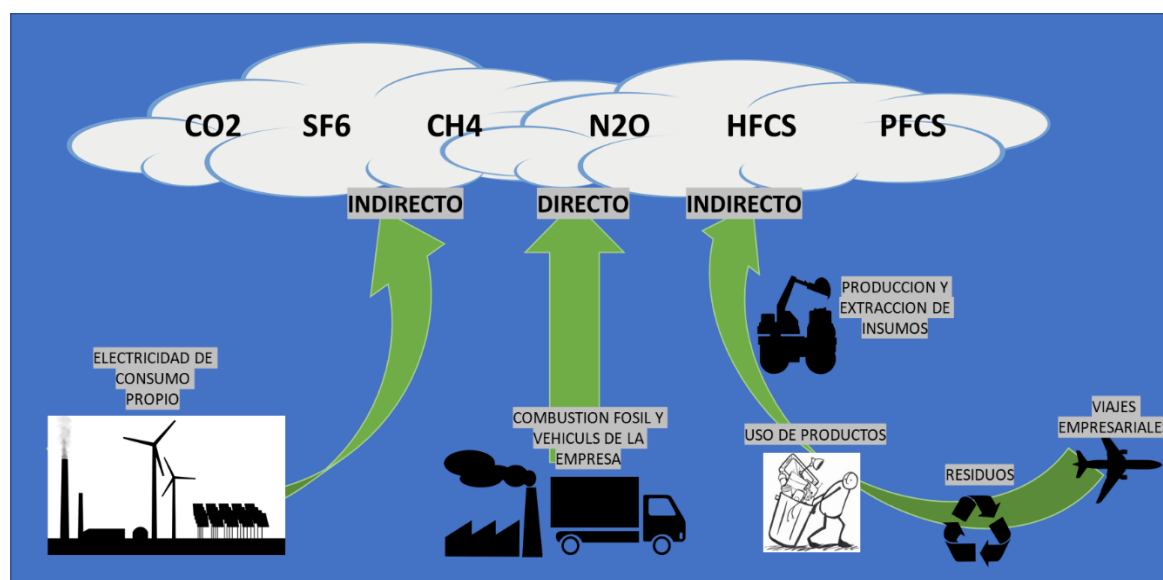


Figura 2.3. Tipos de emisiones y conceptualización de cada uno. Fuente: [4].

El GHG Protocol tiene dos estándares que son:

- Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI: guía para las diferentes empresas interesadas en cuantificar y reportar sus emisiones de GEI [6].
- Estándar de Cuantificación de Proyectos del Protocolo de GEI: guía para la cuantificación y reducción de emisiones de GEI en proyectos específicos [6].

Su estándar principal se centra en proporcionar requisitos y orientar a las organizaciones que preparan reportes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel corporativo. Además, establece una norma para siete gases de efecto invernadero los cuales están cubiertos en el protocolo Kioto: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PCF), hexafluoruro de azufre (SF₆) y trifluoruro de nitrógeno (NF₃) [8].

Para poder hacer el cálculo de emisiones, la metodología GHG tiene una serie de herramientas establecidas, las cuales son [9]:

- Herramientas intersectoriales: Aplicable a empresas de cualquier sector industrial.
- Herramientas específicas para cada país: Acorde para países en desarrollo.
- Herramientas específicas del sector: Aplicable a sectores específicos industriales con disposición para diferentes situaciones.
- Herramientas para los países y las ciudades: Aplicable para objetivos climáticos en seguimiento.

Por último, como datos importantes acerca de este estándar, se tiene que la primera publicación se hizo en el año 2001 [5] y fue desarrollado por World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) [5] [10] y WORLD Resources Institute (WRI) [11] [5] bajo un estatuto privado y de Sociedad civil [12]. Los países presentes en el Acuerdo de París y en programas nacionales fueron: Brasil, India, Filipinas y México [13].

El estándar GHG resulta compatible con otros programas GHG debido a que tiene una política de esquema neutral y cuenta con requerimientos comunes. Además, no requiere información de emisiones, pero sí de registros de contabilidad [8].

2.2.2 Bilan Carbone

Esta es una metodología francesa que fue creada por la ADEME que como sus siglas indican es la Agencia del Medio Ambiente y Energía, Bilan Carbone se basa en la ISO 14064 y en el GHG [14] [15] [16]. El propósito de esta metodología es darles la posibilidad a las compañías de obtener un mapeo de todas las emisiones de GEI que puedan estar generando cualquier tipo de procesos dentro de la empresa. Esta metodología al igual que la GHG Protocol tiene dos variantes: Una para negocios y otra para las autoridades locales.

- Negocios: Se aplica para las valoraciones de emisiones relacionadas a las actividades del sector industrial.
- Autoridades locales: Se compone por dos módulos, el de “activos y servicios” para las emisiones relacionadas con actividades de administración, y el de “territorio” que relaciona las actividades (industrial, residencial, agricultura, servicios, etc.) en el territorio gestionado por la autoridad local.

Los principios en los que esta metodología se basa son:

- Consistencia e integridad de los datos.
- Necesidad de exactitud.

Así mismo, los procesos necesarios para llevarse a cabo son:

- Conceptualización de los alcances de emisión GEI.
- Mapeo de emisiones.
- Recopilación de datos.
- Calcular las emisiones.
- Fabricación del informe a partir de los datos obtenidos.

El primer proceso trata de listar los procesos de emisión que se van a tomar en cuenta para el cálculo de la huella de carbono, esto va de la mano con el segundo punto que sería realizar el mapeo final de aquellas emisiones para ahora llevar a cabo una recopilación de los datos obtenidos. Al momento de realizar la recopilación de datos, se deben tener presentes algunos límites de emisiones que se conocen como (scope).

Dentro de los límites scope hay 3 vertientes:

1. In Company: Son aquellas emisiones provocadas directamente por la compañía, lo malo de este alcance es que se va a tomar un pequeño porcentaje de todas las emisiones que existen dentro de la compañía, casi como si se tomaran solo las emisiones directas.
2. Alcances intermedios: En este alcance se tiene en cuenta exclusivamente las emisiones que son generadas dentro de los procesos de fabricación y procesamiento dentro de la empresa, tomando en cuenta también las emisiones de transporte y consumo de energía.
3. Alcances Overall Approach o Generales: Este es el alcance principal de la metodología Bilan Carbone, ya que es la que más toma en cuenta las emisiones de la compañía, tanto emisiones externas como internas que se provoquen en cualquier proceso industrial de la compañía.

Esta metodología puede ser bastante completa al ejecutarse y en los resultados que se pueden obtener, pero también cuenta con algunas debilidades que pueden perjudicar su cálculo:

1. Para un correcto conteo de emisiones, las compañías deben disponer de un listado completo con todas aquellas emisiones que se generan dentro de la empresa. Este a su vez es el punto más débil de la metodología ya que normalmente en todas las empresas existe un déficit de información de todas las emisiones.
2. Muchos de los resultados de emisiones que se generan como resultado luego de la investigación de Bilan carbone son solo aproximaciones.
3. las emisiones que se generan al vender o comprar productos para el consumo de la empresa o del cliente, también son aproximaciones, ya que es casi improbable tener una medición certera de estas mismas.
4. dentro de la metodología hay dos procesos de conteo de emisiones ahorradas:
 - Evitación de impactos el cual es utilizado para cuantificar ahorros de emisiones mediante el reciclaje de producción de calor o electricidad.
 - Contenido en carbón almacenado el cual asigna un contenido en GEI al material que muestra la energía de su fabricación.
5. Para el con*teo de sumideros de carbono solo se contabilizará la madera para carpintería.

Como se menciona anteriormente, para facilitar el cálculo en esta metodología se hace uso de una serie de herramientas las cuales están basadas en hojas de cálculo de Excel las cuales a partir del ingreso de datos calculan las emisiones según los datos de actividad de los sectores antes citados [14]:

- Hoja maestra: Realiza el cálculo de emisiones y la comparación de valores de emisión entre diferentes años. Además, permite evaluar diversas acciones de reducción.
- Primera herramienta: Permite calcular las toneladas de emisiones por kilómetro recorrido en la industria del transporte terrestre.
- Segunda herramienta: Permite calcular las emisiones de gases refrigerantes provenientes de fugas de máquinas de refrigeración y aires acondicionados.
- Tercera herramienta: Permite usar los resultados de la hoja maestra en procesos de simulación en función del cambio de variables “como el incremento en el precio de los combustibles o la implementación de impuestos sobre las emisiones de GEI”.
- Software con una cuantificación por estimación.
- Emisiones de GEI = datos de actividad x factor de emisión correspondiente

Por último, unos datos importantes acerca de esta metodología y que se deben tener en cuenta para su investigación son: La metodología fue desarrollada por ADEME bajo un estatuto público. El año de Implementación de la metodología fue en 2004 a nivel Nacional (Francia) y en 2011 a nivel Internacional. Los países que participaron en su propuesta además de Francia fueron los países asociados al Acuerdo de París, como Belgica, Luxemburgo, Suiza, Italia, entre otros [12] [15] [16].

Esta metodología es compatible con GHG Protocol, ISO 14064/14065, GEI40 y demás programas que utilizan el Protocolo Kioto.

2.2.3 PAS 2050:2007

Esta metodología es una especificación para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de productos y servicio del BSI (British Standards Institution) para uso público [17] [18].

Herramientas de cálculo:

- Business to Business, cuando el ciclo de vida considerado del producto finaliza con la entrega del mismo a otra organización para que lo utilice en la elaboración de otro producto.
- Business to Customer, cuando se considera el ciclo de vida completo del producto, incluidas las actividades posteriores a la entrega del producto al cliente/usuario.

Las emisiones deben medirse en masa y convertirse a emisiones de CO₂ utilizando los últimos coeficientes de conversión IPCC disponibles. Además, el periodo a considerar para el análisis de ciclo de vida debe ser de 100 años.

Las actividades propuestas por esta metodología son:

- Convertir los datos primarios y secundarios en emisiones GEI.
- Transformar las emisiones de GEI a emisiones de CO₂ equivalente.
- Deducir el carbono almacenado asociado al producto.
- Expresar los datos por unidad funcional de producto.
- Contabilizar contribuciones menores (de materias primas o actividades) excluidas.

Otros datos de interés:

- Año de Implementación: Implementado en el año 2007 [17] [18].
- Países participantes: Países que conforman el Reino Unido [17] [18] .
- Desarrollador: British Standard Institute [17] [18].

2.2.4 PAS 2060:2010

Esta metodología llamada Public Available Specification – PAS creada por el Instituto de Estandarización Británico (ISB), se encarga de realizar un seguimiento y control de las emisiones de GEI que puedan generar las empresas grandes, pequeñas y medianas. La

metodología propone además un cálculo efectivo de la huella de carbono, una serie de estrategias que aporten un mejoramiento para la mitigación de las emisiones GEI.

Para su desarrollo se deben tener en cuenta una serie de principios, los cuales son:

- Definir los límites y documentarlos.
- Se deben usar datos que correspondan únicamente a la empresa y de sus actividades propias, ya que al no ser así se debe establecer por qué y que otra alternativa comparable será usada.
- Minimización de incertidumbre.
- En dado caso que el conteo de emisiones se dé a base de cálculos, se debe tener en cuenta que estos cálculos deben ser lo más verídicos posibles y en su totalidad deben ser tomados de publicaciones nacionales.
- Para realizar conversiones de factores de GEI a CO₂ se deben tener en cuenta las publicaciones del IPCC o las entidades nacionales del medio ambiente.
- Los resultados deben darse en toneladas de CO₂.

Mientras que para su proceso metodológico trata de llevar a cabo las siguientes estrategias:

- Elegir el proceso del cual se quiere controlar su nivel de emisión.
- Realizar el conteo de su nivel de emisiones siguiendo alguna metodología.
- Realizar un plan de gestio y compromiso con respecto a la huella de carbono. Allí se debe representar un calendario de proyectos y unos objetivos ya predefinidos para las mitigaciones de GEI.
- Realizar proyecto para la mitigación de la huella de carbono.
- Realizar los mismos pasos anteriores para cada proceso de emisión.
- Realizar el reporte de emisiones encontradas con el nombre de la metodología usada para hallarlas y a su vez los proyectos que se llevan a cabo para sus mitigaciones respectivas.

Es importante resaltar que al momento en que la empresa inicia un proyecto de mitigación de la huella de carbono de algún proceso, se debe llevar un seguimiento y control de dicho proyecto y reportar cualquier novedad o cambio dentro del planeamiento en el informe final, así como la cantidad de emisiones mitigadas y el porqué de la no mitigación de alguna si es el caso. Por último, la metodología que se haya seleccionado debe ser la misma durante

todo el proceso, desde el comienzo de conteo de emisiones, hasta para los parámetros del reporte final.

Esquemas de Compensación

- Desarrollo Limpio.
- Aplicación conjunta.
- Comercio de Derechos de Emisión Europeo.
- Mecanismos voluntarios de emisión (otros).

Si la empresa cumple con todos los requerimientos se podrá certificar de neutralidad con base en la declaración de neutralidad establecida.

Tipos de Declaración

- Declaración de Compromiso: Aquí las empresas se comprometen a alcanzar una neutralidad entre las emisiones emitidas y mitigadas. Documentando los planes y estrategias que se llevaran a cabo, así como el tipo de metodología que se tomará.
- Declaración de consecución: Aquí se compromete la empresa a seguir realizando estrategias de mitigación periódicamente hasta lograr siempre la neutralidad de emisiones dentro de la empresa. Esta declaración es la más importante y por lo tanto debe ir firmada por la máxima autoridad dentro de la compañía y esta será válida solo por un año para que posteriormente deba ser renovada.

2.2.5 MC3 – Método Compuesto de las Cuentas Contables

Es una metodología creada por Doménech y colaboradores en el año 2004 **Fuente especificada no válida**. Cuenta con dos versiones que consideran entre sus características todo tipo de bienes y servicios, la ocupación del espacio y la generación de residuos [19]. Su método propuesto permite la fluidez de la información de una organización a otra sin necesidad de contar con la colaboración de clientes o proveedores debido a que la información se acumula progresivamente y el estudio se limita siempre a una única entidad lo cual permite el ecoetiquetado de la organización y de sus productos o servicios con la misma metodología [20].

Con relación a sus herramientas de cálculo, se basa en la utilización de una plantilla de cálculo en Excel [19]. En la primera hoja incluye una guía de uso de la plantilla de cálculo para comprender cómo se consideran los aportes a la huella de carbono. La segunda hoja de cálculo de la planilla orienta sobre los datos que se deben actualizar para el caso de estudio. Se consideran precios variables de combustibles, indicadores de sostenibilidad y factores de rendimiento, equivalencia y absorción de CO₂ para terrenos y agua [19]. La hoja principal es la hoja tres, allí se deben ingresar los datos específicos o actualizar otros. El resto de las hojas contienen información relacionada para el cálculo de la huella de carbono y en una hoja aparte llamada “out” aparecen los resultados finales expresados en diferentes formas, entre ellas la huella de carbono en toneladas de CO₂/año [19].

Esta metodología propone que el estudio de la huella de Carbono se limite a una única corporación. De esta forma, el alcance que pueda tener sobre una organización, queda delimitado en todo momento. Por eso, MC3 nunca añade el uso del producto, o la destrucción del mismo cuando llega el final de su vida útil, debido a que esto queda fuera del alcance organizacional.

Con relación con las otras metodologías existentes, esta tiene ventajas como el hecho de presentar un “enfoque a la organización”, ya que esto permite el ecoetiquetado de la organización y productos o servicios con la misma metodología; también permite representar el indicador tanto en toneladas de CO₂ como en hectáreas de terreno bioproductivo y hace posible obtener los datos de entrada de las cuentas contables, lo cual permite a su vez, incorporar todas las fuentes posibles de emisión de carbono, permitiendo así realizar una comparación; finalmente, el ciclo de vida previo se integra con los productos o consumos de entrada, lo que hace que no sea necesaria la colaboración directa de clientes o proveedores; la información va automáticamente a lo largo de la cadena de suministro.

2.2.6 CARROT

Es un método que busca ayudar empresas y organizaciones para la cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI) y proponer soluciones para su reducción. El año de implementación de esta metodología fue en el 2007 por el Estado de California en EEUU.

Algunos datos de interés son [12]:

- Herramientas de cálculo: Software en línea basado en GHG Protocol.
- Año de Implementación: No específica.
- Países participantes: Estados Unidos.
- Desarrollador: Estado de California bajo un estatuto público.

CARROT utiliza factores de emisión y factores de conversión incorporados para automatizar el cálculo de los inventarios de GEI y mejorar la consistencia y la comparabilidad. Los usuarios ingresan datos anuales de uso de energía (es decir, kWh de electricidad o MMBtu de gas natural) y CARROT calcula las emisiones de GEI asociadas. El acceso web permite el uso simultáneo de cualquier número de usuarios en todos los estados, países y zonas horarias.

2.2.7 CARBONE IMPACT

Es una herramienta interactiva en línea orientada a la industria del transporte de carga para medir y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [21]. Dentro de sus características para el desarrollo del cálculo de las emisiones se realizan comparaciones en tres criterios clave: La cantidad de CO₂ que emite el transporte, la duración del transporte y el impuesto potencialmente pagado [21].

Algunos datos de interés son [21]:

- Año de Implementación: A partir de enero de 2006.
- Países participantes: Francia y países de la unión europea.
- Desarrollador: Inotti bajo un estatuto privado.

2.2.8 UMBERTO

Es una herramienta a nivel de software que cuenta con diferentes versiones las cuales están sujetas a una licencia y su uso es principalmente para soluciones a nivel de análisis de flujos de materiales y de ingeniería sostenible con base en focos de emisiones. [22]. Umberto tiene varias herramientas a nivel de software las cuales son [23]:

- Umberto NXT Efficiency: Permite crear flujos de energía e identificar factores de los procesos de un sistema de producción.

- Umberto NXT LCA: Software para Análisis de Ciclo de Vida y modelos gráficos del ciclo de vida un producto.
- Umberto NXT Universal: Permite mejorar la eficiencia ecológica de productos y procesos de fabricación con base en perspectivas ambientales y de costos.
- Umberto NXT CO2: Determina el impacto climático producido por empresas y productos.

Su implementación se inició en el año 1998 [24]. El país de origen fue Alemania con el desarrollador Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH bajo un estatuto privado [12]. Tiene compatibilidad con GHG Protocol, ISO 14067 y PAS 2050 [25].

2.2.9 CO2 NAVIGATOR

Es un servicio en línea de un Proveedor de Servicios de Aplicación (ASP) para empresas que están bajo legislación japonesa y fue creado por NTT Data Corporation bajo un estatuto privado en el año 2006 [12]. Tiene herramientas de cálculo que permite calcular emisiones de seis tipos de gases de efecto invernadero prescritos por el Protocolo de Kioto e implementa funciones de control para el proceso de gestión ambiental [26].

2.2.10 EMISSIONS LOGIC

Es una metodología que se encarga del inventario de GEI con adaptación a distintos estándares [27]. El desarrollador de la metodología es Carbonsim PTY Ltd bajo un estatuto privado [12]. Dentro de los gases que incluye esta metodología se encuentran los 6 pertenecientes al protocolo de Kioto.

2.3 CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS ANALIZADAS

A continuación, se encuentra en la Tabla 2.3 el cuadro comparativo que resalta las características de las tecnologías abordadas anteriormente y de algunas otras que, aunque no son consideradas como metodologías, son herramientas muy útiles para la medición de huella de carbono

[illegible]

3. ASPECTO REGULATORIO SOBRE LA HUELLA DE CARBONO

A través de este capítulo, se pretende revisar el estado a nivel regulatorio relacionado con las mediciones de la huella de carbono y emisiones de GEI.

3.1 ESTÁNDARES INTERNACIONALES

A nivel de estándares Internacionales y marcos normativos, las normas ISO se posicionan como guías generales: ampliamente aceptadas a nivel mundial como guías de referencia. Estas guías facilitan el cálculo de la Huella de Carbono asociada a una organización, evento o ciclo de vida de producto o servicio. A continuación, la Figura 3.1 resume los estándares internacionales que al momento se encuentran vigentes:

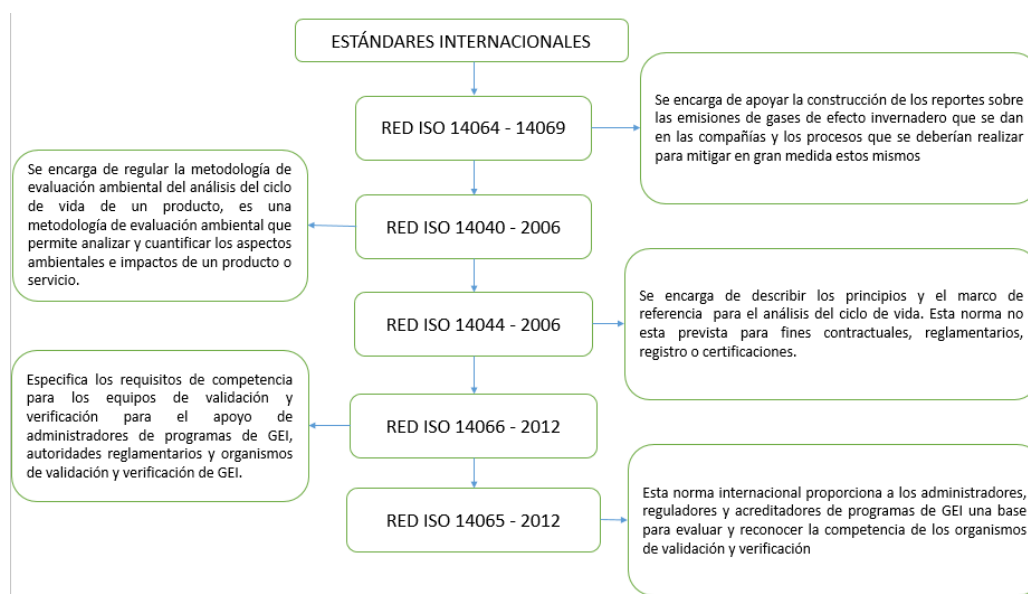


Figura 3.1. Estándares Internacionales. Fuente [12]

3.1.1 LA RED ISO 14064 - 14069

ISO o por sus siglas en inglés (International Standard Association), es una organización encargada de estandarizar y normativizar algunos de los procesos comerciales en las industrias del mundo, exceptuando industrias de electricidad. Teniendo en cuenta lo anterior, la ISO 14064 se encarga de apoyar la construcción de los reportes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que se dan en las compañías y los procesos que

se deberían realizar para mitigar en gran medida estos mismos. Dentro de las normas que componen esta red están las siguientes:

- **La norma ISO 14064-1:2012:** Ofrece un marco para el diseño y gestión de los inventarios de GEI en las organizaciones. Incluye los requisitos para la gestión de la calidad del inventario, determinando límites y requisitos para la cuantificación de emisiones y absorciones de GEI. Establece orientaciones para la identificación de acciones específicas en la mejora de la gestión de GEI. Detalla los requisitos del informe y auditoría interna, así como responsabilidades de la organización en actividades de verificación.
- **La norma ISO 14064-2:2012:** En el segundo numeral es donde se toma en cuenta la metodología de mitigación de las emisiones de gases invernaderos, creando estrategias de planeación, ejecución, seguimiento y control. Claramente al ser una norma ISO lo que se busca es que esta no entre en conflicto con otras metodologías que puedan existir ya.
- **ISO 14064-3:** En el tercer y último numeral se toman en cuenta aquellas recomendaciones para llevar a cabo un buen procedimiento de los dos numerales anteriores.
- **ISO 14069:** Otra normativa de la ISO, se habla sobre algunos estándares que deben realizar las compañías para hacer efectivo un cálculo de la huella de carbono.

La norma **UNE-EN ISO 14.064:** se encarga de apoyar la construcción de los reportes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero generados por las compañías y los procesos que se deberían realizar para mitigar en gran medida estas emisiones. La Figura 3.2 muestra la interacción entre la familia de normas ISO explicadas anteriormente.

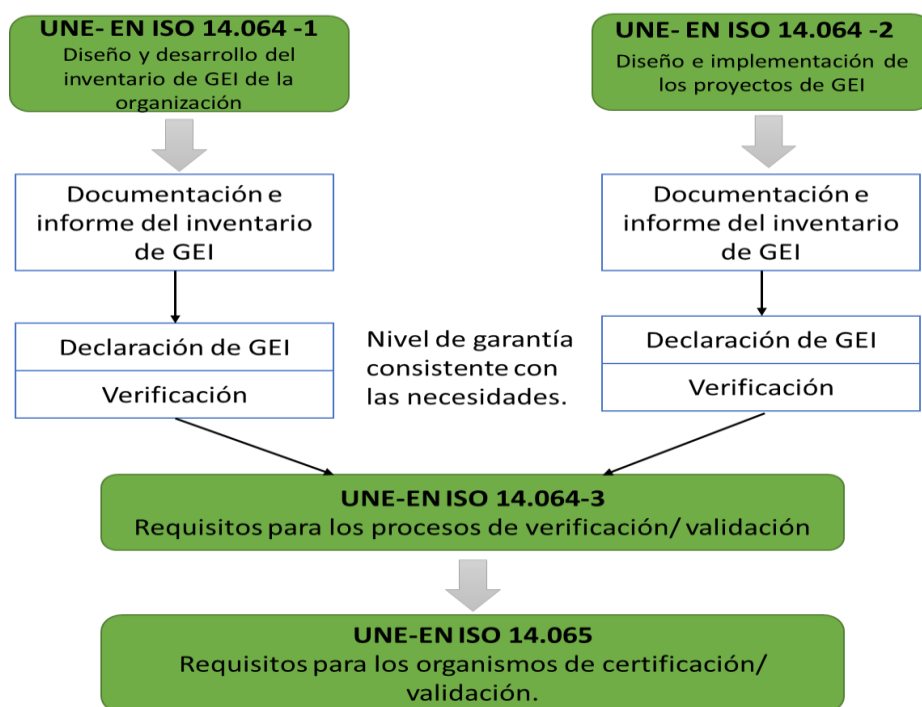


Figura 3.2. Norma UNE-EN ISO 14.064. Fuente [12]

La norma UNE-EN ISO 14.064 usa una serie de principios para llevar a cabo un correcto uso de esta metodología. Estos principios se aprecian en la tabla 3.2.

Tabla 3-1. Principios UNE-EN ISO 14.064. Fuente: Elaboración propia

PRINCIPIOS NORMA UNE-EN ISO 14.064-1
Pertinencia
Cobertura total
Coherencia
Exactitud
Transparencia

Por otra parte, esta metodología se basa en 4 procesos principales para llevarse a cabo:

- Definir los límites organizativos.
- Definir los límites operativos.
- Cuantificar.
- Realizar el informe de resultados.

En los dos primeros procesos se nombran las fuentes donde se están emitiendo los GEI y que son necesarios para tener en cuenta dentro del cálculo de la huella de carbono. Las emisiones pueden ser de tipo directa, indirecta o segundo tipo de indirecta. Esto, siendo relacionado con el impacto que se da en el medio ambiente.

Posteriormente se realiza la cuantificación de las emisiones de acuerdo a las normativas establecidas, y por último se realiza un informe final con los resultados que se hayan obtenido a partir de la cuantificación.

3.1.2 OTRAS GUÍAS DE REFERENCIA:

- En el cálculo de la HC de productos o servicios es necesario realizar de forma transparente un **análisis ciclo de vida (ACV)** evaluando los aspectos ambientales y potenciales impactos asociados. Las normas **ISO 14040:2006** e **ISO 14044:2006** describen su aplicación en un amplio rango de posibilidades.
- Para mantener la confianza pública en las declaraciones, se establecen las normas **ISO 14066:2012** e **ISO 14065: 2012** que definen los **requisitos exigibles en equipos y órganos acreditados para validar emisiones.**
- En apoyo a organizaciones que aplican la norma **ISO 14064-1** para la cuantificación y presentación del informe de emisiones se dispone de la guía **ISO/TR 14069:2013**. La norma **ISO 14064-3:2012** **permite validar estas declaraciones por una tercera parte.**

3.1.3 NORMATIVIDAD Y REGULACIÓN EN COLOMBIA:

La normatividad Colombiana la rigen las leyes, decretos y resoluciones, los cuales se resumen de una manera breve a continuación en la Figura 3.3, y se explican con mayor detalle en el desarrollo de este capítulo.

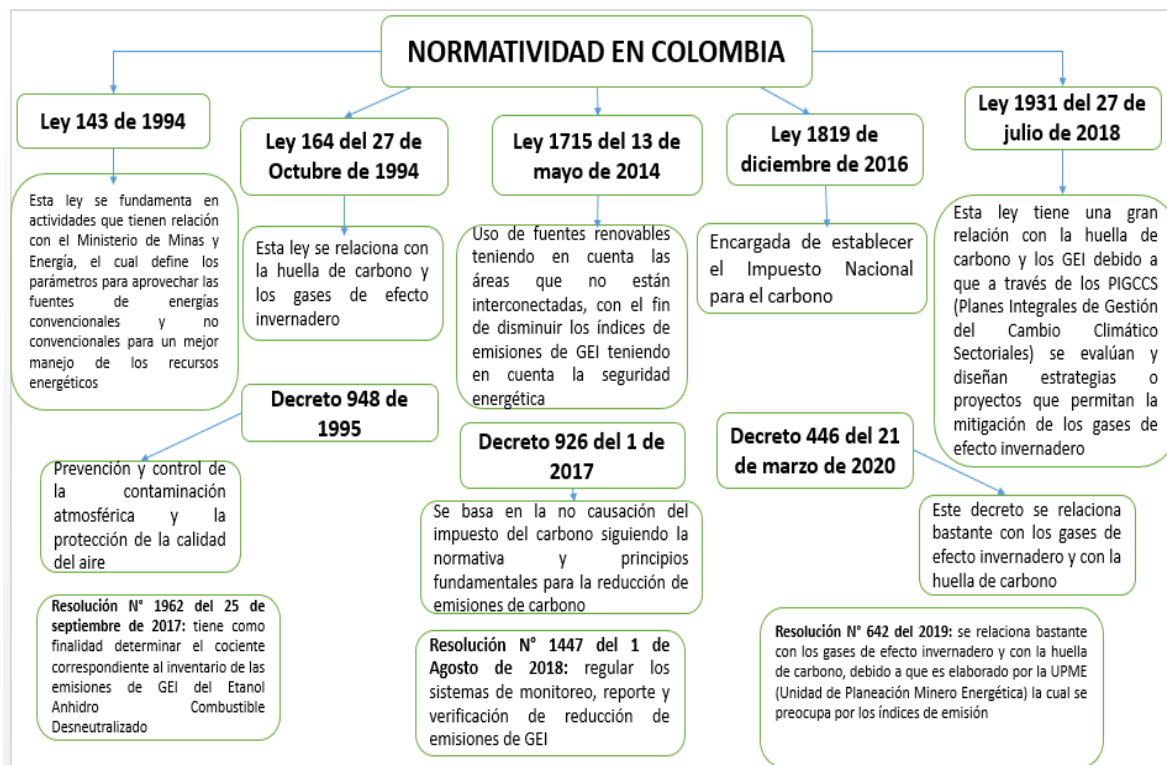


Figura 3.3. Marco Regulatorio Colombiano. Fuente Autor

- **Ley 143 de 1994:** por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden autorizaciones y se dictan disposiciones en materia energética, interconexión, transmisión y comercialización de electricidad [28].

Esta ley se fundamenta en actividades que tienen relación con el Ministerio de Minas y Energía, el cual define los parámetros para aprovechar las fuentes de energías convencionales y no convencionales para un mejor manejo de los recursos energéticos. De igual manera esta ley en el art. 11 establece definiciones que se

consideran fundamentales cuando se habla de actividades que hacen referencia al ministerio de minas y energía como: red nacional de interconexión, reglamento de operaciones, comercialización, auto generador, etc.

Esta ley se relaciona con la huella de carbono debido a que el Ministerio de Minas y Energía, es la entidad que vela por el manejo de los recursos con el objetivo de garantizar protección del medio ambiente, de igual manera regula los productos o servicios de empresas que explotan recursos y emiten GEI.

- **Ley 164 del 27 de Octubre de 1994:** Diario Oficial No. 41.575, del 28 de octubre de 1994 por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992 [29].

Con esta ley se pretende que se adopten los temas vistos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y que el país implemente los principios y estrategias para combatir el cambio climático.

Esta ley se relaciona con la huella de carbono y los gases de efecto invernadero debido a que en esta Convención se acepta que los países desarrollados son los que más generan GEI, y que se deberán tomar medidas de registros que permitan llevar una contabilidad del incremento de estos gases, donde los países que exporten combustibles fósiles deberán tomar las medidas aprobadas en esta Convención, con el fin de limitar las emisiones de los GEI, al ser Colombia un país exportador de combustibles fósiles, deberá adoptar las medidas de la convención.

- **Decreto 948 de 1995:** Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire [30].

Este decreto se fundamenta en la protección y control de calidad del aire el cual tiene como objeto dar a conocer las pautas para el control atmosférico y la reducción de contaminantes químicos y físicos, con el fin de brindar a los ciudadanos un mejor bienestar y permita un desarrollo sostenible. De igual manera este decreto establece unas definiciones que se consideran fundamentales cuando se habla de calidad del aire (atmosfera, aire, área-fuente, concentración de una sustancia en el aire, contaminación atmosférica, contaminantes, emisión, sustancias peligrosas, etc). De

igual manera se definen los tipos de contaminantes del aire como lo son: el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el plomo y el dióxido de azufre.

Este decreto tiene una estrecha relación con los GEI debido a que los contaminantes de segundo grado como compuestos químicos están destruyendo la capa atmosférica y esto trae como consecuencias más emisiones de GEI.

- **Ley 1715 del 13 de mayo de 2014:** Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. El objetivo de esta ley es el uso de fuentes renovables teniendo en cuenta las áreas que no están interconectadas, con el fin de disminuir los índices de emisiones de GEI teniendo en cuenta la seguridad energética [31].
- Esta ley se relaciona con la huella de carbono debido a que una de las competencias administrativas (art. 6) del Ministerio de minas y energía, es velar por el desarrollo del carbono mediante energías no convencionales teniendo en cuenta la eficiencia energética.

De igual manera el gobierno asume el compromiso de proyectos internacionales, ejecutándolos de la mejor manera, mediante la participación de entidades tanto públicas como privadas que emiten GEI, donde estas empresas se comprometen a la implementación de medidas que permitan mitigar estas emisiones.

Con esta ley se pretende cuidar la salud humana debido a que estas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), son muy nocivas para el cuerpo humano, por eso se quiere garantizar que los productos o servicios de las compañías contribuyan aplicando las debidas estrategias [32].

- **Ley 1819 de diciembre de 2016:** es la encargada de establecer el Impuesto Nacional para el carbono, donde el gobierno ha planteado unas medidas que permitan combatir los efectos del cambio climático tanto para el sector público como para el privado. Colombia se unió a los acuerdos de la Cumbre Internacional de París [33], la cual se centra en reducir la huella de carbono en un 20% con relación a las esperadas en el 2030. Por lo anterior el gobierno ha realizado unas modificaciones en el marco legal

con el fin de obtener avances en la reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), siendo esto el objeto de esta ley (Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016).

Esta ley tiene como fundamento regular la productividad de las compañías del país mediante el impuesto nacional del carbono el cual brinda una mayor eficacia a ser un medio costo efectivo debido a que permitirá una mejora en la salud ambiental y en la calidad del aire.

- **Decreto 926 del 1 de 2017:** Por el cual se modifica el epígrafe de la Parte 5 y se adiciona el Título 5 a la Parte 5 del Libro 1 del Decreto 1625 de 2016 Único Reglamentario en Materia Tributaria y el Título 11 de la Parte 2 de Libro 2 al Decreto 1076 de 2015 Reglamentado del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, para reglamentar el parágrafo 3 del artículo 221 y el parágrafo 2 del artículo 222 de la Ley 1819 de 2016 [34].

Este decreto se basa en la no causación del impuesto del carbono siguiendo la normativa y principios fundamentales para la reducción de emisiones de carbono. Este decreto se relaciona bastante con los gases de efecto invernadero y con la huella de carbono, debido a que se creó con el fin de beneficiar a las empresas con el pago del impuesto del carbono, el cual establece que la empresa deberá certificar ser carbono neutro bajo los parámetros establecidos por el Ministerio de ambiente, por lo cual se deberá comprometer la empresa a reducir los índices de gases contaminantes (GEI), los cuales se generan a partir de quemas de combustibles fósiles.

- **Resolución N° 1962 del 25 de septiembre de 2017:** Por lo cual se expide el límite del indicador de cociente del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de Etanol Anhidro Combustible Desneutralizado y se adoptan otras disposiciones [35]. Esta resolución tiene como finalidad determinar el cociente correspondiente al inventario de las emisiones de GEI del Etanol Anhidro Combustible Desneutralizado, con el objetivo de cuidar y evitar el calentamiento global. Esta resolución está dirigida para personas o empresas que comercialicen, transporten o elaboren este producto (Etanol Anhidro Combustible Desneutralizado).

Esta resolución tiene una fuerte relación con los gases de efecto invernadero debido que los fabricantes, transportadores o importadores de este producto realizan emisiones directas de GEI como la combustión en calderas, vehículos u otro tipo de combustiones químicas, a su vez también se pueden producir emisiones indirectas debido al uso de la energía que produzca o consuma la empresa, también se pueden producir otro tipo de emisiones indirectas y es cuando se manipulan materias primas compradas que tengan relación con emisiones de GEI.

- **Resolución N° 1447 del 1 de Agosto de 2018:** por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la ley 1753 de 2015 y se dictan otras disposiciones [36]. Esta resolución tiene como finalidad regular los sistemas de monitoreo, reporte y verificación de reducción de emisiones de GEI y verificar los programas o proyectos de acciones para mitigar estas emisiones. Esta resolución está dirigida a cualquier persona Natural o jurídica que quiera inscribir cualquier proyecto de reducción de emisiones de GEI, para este tipo de iniciativas se deben tener en cuenta definiciones como: Depósitos de carbono, NAMA (Acción de Mitigación Nacionalmente apropiada), Dióxido de carbono (CO₂), GEI (Gases de Efecto Invernadero), NREF (Niveles de Referencia de las Emisiones Forestales), etc.

Esta resolución se relaciona en gran parte con los gases de efecto invernadero y con la huella de carbono, debido a que pretende regular e inspeccionar temas como: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los proyectos vigentes con relación a los GEI y REDD (Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación o Degradación Forestal), adicional a ello se deben tener en cuenta a donde van a parar los desechos de carbono y como estos afectan al cambio climático.

- **Ley 1931 del 27 de julio de 2018:** Se encarga de establecer ideales como la autogestión y la responsabilidad que deben tener las personas jurídicas, privadas, públicas o naturales al ser partícipes con actividades relacionadas al cambio climático y a su gestión. Esta ley establece que el SISCLIMA (Sistema de Información Nacional sobre Cambio Climático), el cual es el encargado de los proyectos, estrategias, normativas y mecanismos que contribuyan y regulen el cambio climático, este sistema está bajo el régimen de la CICC (Comisión Intersectorial de Cambio Climático), la cual

va ser la entidad de consulta de del Consejo Nacional del Cambio Climático, que es el institución que se consolidad bajo esta ley, la cual actuara como un organismo que tomara decisiones y participará en actividades en una mejora al cambio climático [37].

Esta ley tiene una gran relación con la huella de carbono y los GEI debido a que a través de los PIGCCS (Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales) se evalúan y diseñan estrategias o proyectos que permitan la mitigación de los gases de efecto invernadero, donde son partícipes las gobernaciones y autoridades ambientales para implementarlos en el área de su jurisdicción.

- **Resolución N° 642 del 2019:** Por la cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional- 2018, para proyectos aplicables al mecanismo de Desarrollo Limpio- MDL [38].

Esta resolución tiene como finalidad la actualización de la variable de las emisiones de los GEI en el SIN (Sistema Interconectado Nacional), los cuales son detallados en el documento conocido como Factores de Emisión del SIN.

Esta resolución se relaciona bastante con los gases de efecto invernadero y con la huella de carbono, debido a que es elaborado por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) la cual se preocupa por los índices de emisión, y para ello se quiere conocer el factor más reciente de emisiones de gases de efecto invernadero del SIN, el cual en 2018 fue de 0.381 tonCO₂/MWh, que se usa como base para identificar el progreso de estas emisiones en el proyecto conocido como MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio).

- **Decreto 446 del 21 de marzo de 2020:** Por el cual se modifica el artículo 2.2.11.1.2 del Capítulo 1 del Título 11 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, y se adiciona un artículo al Capítulo 1 del Título 11 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la acreditación de organismos de verificación de reducciones de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero [39].

El cual tiene como fin modificar el art. 2.2.11.1.2 del decreto 1076 del 2015, el cual dice que la entidad de validación de emisiones de GEI deberá estar acreditado por la

ONAC (Organismo Nacional de Acreditación Colombiana) o por la IAF (Internacional de Acreditación de Organismo de Verificación). De igual manera incluye el artículo 2.2.11.14 al Capítulo I perteneciente al decreto 1076 del 2015, en el cual especifica que las entidades adscritas al MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) tendrá como plazo máximo hasta el 31 de diciembre del 2020 radicar los documentos de validación y verificación correspondientes a la norma ISO 15065.

Este decreto se relaciona bastante con los gases de efecto invernadero y con la huella de carbono, debido a que se crea un artículo nuevo que propende por las validaciones de los gases de efecto invernadero y a su vez dice que estos organismos de validación deberán estar con el aval de la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación Colombiana) o por la IAF (Internacional de Acreditación de Organismo de Verificación).

3.1.3. Normatividad Mundial:

- **Protocolo de Kioto en 1997:** este protocolo tiene como objetivo concientizar a los países industrializados para disminuir los GEI (gases de efecto invernadero). Lo cual brinda un apoyo a los países para ponerlo en marcha.

El PK se basó en los elementos de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El cual determina los objetivos de la disminución de emisiones para la Unión Europea y 37 países industrializados, haciéndolos conscientes de que son los encargados de emitir GEI que afectan a la atmósfera, lo cual ha sido respuesta los 150 años de quema de combustibles fósiles. Lo anterior, permite inferir que este protocolo se centra en la «responsabilidad común pero diferenciada».

Este protocolo ha llevado a que los gobiernos diseñen e implemente políticas o leyes que permitan realizar sus actividades, a las compañías las ha concientizado para tener en cuenta el medio ambiente lo cual infiere en las decisiones de sus productos y de sus inversiones, lo cual ha abierto el mercado del carbono.

El protocolo Kyoto se considera un modelo base con el fin de mitigar las emisiones de GEI, el cual contiene una estructura fundamental para los acuerdos internacionales del cambio climático que se propongan a largo plazo. Ya se ha finalizado la primera etapa de los acuerdos del Protocolo Kyoto que fueron hasta el 2012, los cuales se ampliaron hasta el 2015, periodo por el cual se debió establecer el marco internacional el cual se

centra en proporcionar estrategias para reducir emisiones que según el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) son fundamentales.

Principios de PK

El Protocolo Kyoto comparte las mismas metas y objetivos de la CMNUCC, pero las fortalece con otro tipo de estrategias debido a que el anexo I tiene párrafos que especifican logros individuales y jurídicos, los cuales hacen parte en reducir los GEI (Gases de Efecto Invernadero).

Únicamente las especificaciones de la CMNUCC que pertenezcan también al Protocolo, es decir, que tengan una fuerte relación en la que se acepten o aprueben temas, se verán fuertemente implicadas en el Protocolo.

Los objetivos individuales que están en los párrafos del anexo I de la CMNUCC aparecen en el anexo B del Protocolo Kyoto. El cual adhiere un reporte donde se suman las emisiones de los GEI y se observa una reducción al menos del 5% con respecto a los reportes de 1990, esto sucede con los compromisos de 2012-2018.

Los objetivos abarcan emisiones de seis GEI, los cuales son:

1. PFC (Perfluorocarbonos)
2. N₂O (Óxido nitroso)
3. SF₆ (Hexafluoruro de azufre)
4. CO₂ (Dióxido de carbono)
5. HFC (Hidrofluorocarbonos)
6. CH₄ (Metano)

La máxima cantidad de emisiones (proporcional a las de dióxido de carbono), que se pueden manifestar en un tiempo de compromiso son conocidas como “cantidad atribuida” de la parte.

Tanto el Protocolo como la CMNUCC identifican las problemáticas y necesidades de los países en progreso, enfocándose en los países más vulnerables. Por lo cual se debe especificar en el anexo I las estrategias para cumplir con los objetivos de reducir las emisiones y que a su vez deberá contrarrestar los efectos adversos de estos países.

A partir de 1997 que se aprobó el Protocolo Kyoto y más cuando entra en vigor a partir de 2005, las compañías de gran tamaño que se localizan en sitios estratégicos han

introducido la variable de carbono como un método de gestión. En la actualidad se han visto casos donde se han demandado diversos productos y servicios los cuales tienen una relación con el medio ambiente, en donde se han recompensado a las empresas por introducir estos aspectos a sus políticas. Algunas compañías han empezado a incorporar definiciones como: cambios tecnológicos, derechos de emisión, huella de carbono, mercado de emisiones, compensaciones y aumento de eficiencia, debido a que son conceptos que tienen una relación con las emisiones de dióxido de carbono y con los gases de efecto invernadero [40].

- **Programa ONU medio Ambiente:** Más conocida como PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), es el encargado de difundir los temas que tienen relación con el medio ambiente dentro de los procesos de las Naciones Unidas. Este programa es el encargado de generar estrategias con el fin de promover un entorno sostenible y racional, el cual contribuya al medio ambiente a nivel mundial. La tarea que ejerce el PNUMA comprende analizar los aspectos y reportes ambientales a nivel global, territorial y nacional; diseñar herramientas ambientales que estén disponibles a nivel nacional e internacional las cuales fortalezcan a las empresas en las gestiones ambientales. El PNUMA se ha caracterizado por contribuir y generar estrategias que permitan una mejora al medio ambiente, mediante plataformas gubernamentales en las cuales se han implementado parámetros y directrices que permitan dar solución a las problemáticas referentes con el medio ambiente [41].
- Hace poco aproximadamente 66 países se comprometieron ante la ONU a neutralizar los índices de carbono para el año 2050. A esta causa se sumaron contribuyentes que realizaron donaciones alrededor de los 500 millones de dólares con el fin de reforestar las selvas del mundo incluyendo la Amazonia.
- La misión social consiste en disminuir los índices de gases de efecto invernadero hasta un 45% para el 2030, en base a esto para mediados del siglo, la huella de carbono se deberá encontrar en ceros, esto con el fin de frenar el calentamiento global, por cual se pronunció el secretario general de la ONU mediante un comunicado de prensa.

La ONU considera que estos esfuerzos no son los suficientes y que si se quiere frenar este cambio climático se deberán elevar los esfuerzos hasta cinco veces más, donde el límite del calentamiento global no deberá superar los 1,5 grados y por lo cual se deberá evitar este aumento que afecta al mundo entero [42].

- **Las normativas más importantes en América Latina:** En América Latina la mayor parte de los países han hecho el intento de realizar y proponer iniciativas para combatir el cambio climático. Estas iniciativas se han apoyado en entidades internacionales como la CEPAL, y han sido fruto de cooperaciones internacionales entre entes gubernamentales (Coalition for Rainforest Nations), lo cual ha llevado a que los países se familiaricen cada vez más con el cambio climático. A continuación, en la tabla 3.2 se resaltan los esfuerzos que a nivel regulatorio han tenido los países de América Latina:

Tabla 3-2. La organización de los países (legislación, estrategias, políticas, plan y programas estatales). Fuente: [43]

País	Institucionalidad		Legislación	Estrategia Política	Plan/Programa
	General	Específica			
Argentina	Secretaría de ambiente y Desarrollo Sustentable	Dirección de cambio climático oficina Argentina del mecanismo para un desarrollo limpio	Ley 25.675 General de Ambiente, del 27 de noviembre de 2002	N/A	Programa Nacional sobre impactos del cambio climático
Bolivia	Ministerio de medio Ambiente y Agua	Dirección general de Medio Ambiente y Cambios Climáticos	Ley del Medio Ambiente de 27 de abril de 1992	Programa Nacional sobre Impactos del Cambio Climático	Plan Nacional de Desarrollo Programa Nacional de cambios climáticos (PNCC)
Brasil	Ministerio de medio Ambiente	Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental Departamento de Mudanças Climáticas, DEMC	Ley 6.938/1981 ¹ Dispone sobre la Política Nacional de Medio Ambiente	Política Nacional, Estaduales y Municipales de Medio Ambiente, basadas en la Agenda Nacional de Medio Ambiente Agenda Nacional de Medio Ambiente: sub tema, cambio climático	Programa Nacional de Medio Ambiente (I y II) Programa Nacional de Mudanças Climáticas (Ministerio de Ciencias y Tecnologías) Plano nacional sobre mudança do clima – PNMC – Brasil. Diciembre 2000
Chile	Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA Ministerio de Medio Ambiente (recientemente aprobado, pero aún no operativo, aunque hay un Ministro)	N/A	Ley 19.300 General de Base de Medio Ambiente, de 1994	Estrategia Nacional sobre Cambio Climático	N/A
Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Vice Ministerio de Ambiente	Grupo de Mitigación y Cambio Climático	Ley 99 General Ambiental, de 1993	Lineamiento de Política Nacional de Cambio Climático del año 2002	Planes Nacionales de Desarrollo

País	Institucionalidad		Legislación	Estrategia Política	Plan/Programa
	General	Específica			
Costa Rica	Ministerio de Ambiente y Energía, MINAE. Dirección General Ambiental (DIGECA) Secretaría Técnica Ambiental Nacional (SETENA)	Oficina de la Estrategia Nacional de Cambio Climático Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC) Comisión Consultiva Cambio Climático	Ley Orgánica del Ambiente (No 7554) del 13 de noviembre de 1995	Lineamiento de Política Nacional de Cambio Climático del año 2002	Planes Nacionales de Desarrollo 1998 ^T 2002, 2003 ^T 2006 y 2006 ^T 2010, no son específicos pero mencionan el tema
Ecuador	Ministerio del Ambiente Comité Nacional del Clima	Unidad técnica de Cambio Climático	Ley No 37/1999 de Gestión Ambiental	N/A	N/A
Guatemala	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, MARN Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales	Unidad de Cambio Climático Oficina Nacional de Desarrollo Limpio	DL 68 ^T 86, Ley de protección y mejoramiento del medioambiente de 1986	Política y Estrategia Nacional de Cambio Climático	Programa Nacional del Cambio Climático Plan Estratégico Institucional del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Administración 2008 ^T 2012, PEI
México	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental	N/A	Ley General del equilibrio ecológico y la protección del ambiente, de 1988, actualizada en 2007	Estrategia Nacional de Cambio Climático del año 2007	Programa Especial de Cambio Climático 2008 – 2012 (en etapa de consulta pública) Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007 ^T 2012.
Nicaragua	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, MARENA	Dirección de Cambio Climático Oficina Nacional de Desarrollo Limpio, ONDL	Ley 217 General de Medio Ambiente y los Recursos Naturales, de 1996	Plan de Acción Ambiental: es el marco de referencia de la política y estrategia ambiental oficial de Nicaragua. Fue oficializado en 1993 (estaba vigente hasta el 2005.	Plan de Acción Nacional ante el Cambio Climático (PANCC), elaborado en el 2003

País	Institucionalidad		Legislación	Estrategia Política	Plan/Programa
	General	Específica			
Paraguay	Secretaría del Ambiente, SEAM	Dirección Nacional de Cambio Climático Comisión Nacional de Cambio Climático	Ley 1.561/2000, que crea el Sistema Nacional del Ambiente, el Consejo Nacional del Ambiente y la Secretaría del Ambiente. Ley No.716 de 1996 que sanciona delitos contra el medio ambiente Ley Nº 294/93 de Evaluación de Impacto Ambiental, de 1993	Política Ambiental Nacional (PAN) del año 2005	Programa Nacional de Cambio Climático dependiente de la Secretaría del Ambiente, del 2001. Plan quinquenal de cambio climático 2008-2012 (en el marco del Programa Nacional. Fue lanzado en el 2008)
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Perú	Ministerio del Ambiente, MINAM	Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos Comisión Nacional de Cambio Climático (CNCC) Comisión especial de cambio climático y biodiversidad (CECCB)	Ley 28.611 General del Ambiente, del 13 octubre de 2005	Estrategia Nacional de Cambios Climáticos. La Agenda Ambiental Nacional (2005-2007), que busca continuar la implementación de la Estrategia nacional de cambio climático. Política Nacional Ambiental. Aprobada en mayo de 2009.	Plan Nacional de Acción Ambiental 2010-2021 (en desarrollo)
Uruguay	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, MVOTMA	Dirección Nacional de Cambio Climático Comisión Nacional de Cambio Climático	Ley No 17. 283 General de Medio Ambiente, de 22 de febrero de 2000	Estrategia Ambiental Nacional (no está formalizada)	Programa de Medidas Generales para la Mitigación y la Adaptación al Cambio Climático PMGEMA. Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y la Variabilidad

3.2 ESFUERZOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

A continuación, se describen los esfuerzos más importantes que han realizando a nivel mundial en términos de la reducción de los índices de GEI que directa o indirectamente están relacionados con la huella de carbono.

i. Unión Europea

Tras el marco reglamentario del Protocolo kyoto surge el mercado European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) [44], entidad europea que se constituyó mediante la directiva de 2003/87/EC la cual ha tenido unas modificaciones por la directivas 2004/101/EC, esta se creó con el fin de disminuir las emisiones en las industrias con mayor producción de energía, hoy en día se regula n más de 11000 instalaciones.

La comisión Europea propuso una serie de proyectos para el consumo y la producción sostenible (SCP) y el desarrollo sostenible (SIP) [45], estos cuentan con el aval del Consejo de la Unión Europea por medio de las conclusiones que se estipularon el 4 de diciembre de 2008 [46], adicional a esto ilustran los procesos actuales de reflexión. La Unión Europea trabaja y tiene como objetivo el consumo y la producción sostenible entorno a una armonización y un refuerzo, donde cabe resaltar los temas relacionados con la Huella de Carbono:

- Contribuir a la evaluación de las emisiones de GEI, basados en los estudios realizados por los países europeos.
- Prevenir a los consumidores por medio de ecoetiquetas, teniendo en cuenta el periodo de vida de los productos.
- Intensificar la información tanto para las empresas minoristas, mayoristas y para los consumidores.
- Motivar a los comercializadores y a los productores, específicamente al ivel de las PYMEs.
- Estudiar herramientas que permitan brindar un incentivo económico a las compañías comercializadores y productoras.

Estos estudios de la Unión Europea han detallado la posibilidad de añadir un tipo de impuesto al carbono, de igual manera omitido el análisis de los productos importados desde países que no hacen parte de la UE. La UE enfatiza en que no se debe descuidar la competitividad de las compañías frente al resto del mundo, países como Francia están a

favor de que se aplique el impuesto carbono para los productos que son importados, pero a su vez ha sido rechazada por otros países de la misma EU. Por el momento la Unión Europea tienen una gran relación con los sectores del EU-ETS.

ii. Inglaterra

Inglaterra junto con Francia lideraba la realización de estrategias y herramientas que permitían la valorización de la huella de carbono en los productos, compañías y eventos. Este gobierno fundó una compañía conocida como Carbon Trust, la cual se encarga de plantear diversas soluciones con el fin de que exista una economía baja en carbono y creó una metodología para estimar la forma de medir la huella de carbono del ciclo de vida de algunos productos y servicios. Esta metodología es conocida como el estándar 2050 (PAS 2050). Después de un tiempo, esfuerzos realizados estuvieron encaminados a profundizar la forma de medir la huella de carbono en la industria. Fue así como nació el estándar PAS 2060 [47].

Por lo anterior se infiere que Inglaterra pretendió mitigar las emisiones de las grandes industrias tanto públicas como privadas, para ello se les impuso que a partir de abril del 2010 debían medir las emisiones de GEI e implementar medidas para su reducción. Los objetivos impuestos por el gobierno inglés tienen peso sobre el consumo de energía, en los productos elaborados y materias primas.

Por otra parte, en Reino Unido se implementó el proyecto de Medición de Carbono [48] – Carbon Disclosure Project, CDP las cuales señalan las mediciones y publicaciones de las emisiones de GEI de las compañías más importantes a nivel mundial, y la ayuda que estas han brindado para la integración y cumplimiento de estas estrategias.

iii. Francia

Francia es un país donde el cambio climático ha tenido gran relevancia y un reconocimiento por parte de los ciudadanos. Su conocido interés en generar economías sostenibles y combatir el calentamiento global involucrando a los consumidores se ha visto reflejado en las leyes “Grenelle de l’ Environnement” (“Grenelle 1” aprobada en 2008 y “Grenelle 2” en 2009). Las cuales establecen qué:

- Las compañías que posean territorios que superen los 50.000 habitantes y 500 funcionarios deberá calcular la huella de Carbono a partir de 2010.

- Mediante etiquetas se deberá informar los impactos ambientales relacionados con la Huella de Carbono, esto funciona a partir del 1 de enero de 2011.

Por lo anterior ADEME (Agencia para el Medio Ambiente y control de la Energía) junto con AFNOR (Asociación Francesa de Normalización) han encaminado esfuerzos para el proceso de etiquetado de productos, con el fin de que los usuarios puedan tomar decisiones a la hora de comprar. Adicional a lo anterior, La ADEME realizó e implementó una herramienta metodológica a partir de 2004 conocida como Bilan Carbone™, la cual se encarga de las emisiones de GEI. Muy usada en Francia y en los países vecinos [49].

iv. Alemania

Alemania es considerada un país tradicional que se preocupa por el medio ambiente. Al igual que los países vecinos se ha propuesto en reducir las emisiones GEI, como objetivo tienen para 2050 en reducir en un 50% de los índices registrados en 1990. Uno de los retos que tiene para este 2020 es reducir en un 40% estas emisiones, para dar cumplimiento a estos retos promueve el uso de energías renovables ofreciendo incentivos a las compañías y a los ciudadanos.

Pese a que es un país que tiene conciencia ambiental, le falta establecer un lineamiento estratégico enfocado en la Huella de Carbono, o como en Francia una medida que permita advertir a los ciudadanos de los productos que consumen o implementar una metodología propia de medición de huella de carbono.

v. España

España al ser un país tan desarrollado ha estado relativamente más atrasado con respecto a los países mencionados pertenecientes a la UE. Temas como conciencia frente al cambio climático y estrategias que mitiguen esta situación están en proceso de construcción. Es por ello que al día de hoy no se encuentran estrategias referentes a las Huellas de Carbono, mientras que si se encuentran procesos de reflexión que abordan esta problemática.

No obstante, es necesario realizar un énfasis en el proyecto que la Asociación de Empresarios Productores Ecológicos de Andalucía (EPEA), junto con la Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía, este proyecto tiene como objetivo medir y verificar los índices de la huella de Carbono en productos agroalimentarios, desde que el cliente lo adquiere hasta que se convierte en residuo. Esto con el fin de que tanto los clientes como

los productores se lleven una idea de cómo el producto contribuye a medio ambiente. De igual manera las compañías que hacen parte de EPEA se sienten en el deber de contribuir en la reducción de las emisiones de GEI.

vi. Estados Unidos

Estados Unidos es un país preocupado por la huella de carbono y ha realizado contribuciones significativas que han tenido una gran influencia en el mercado. Sin embargo, estos avances no son comparables con los de Europa. En el ámbito territorial, federal y empresarial, se han realizado esfuerzos, de los cuales sobresalen:

- La Agencia para la protección del medio ambiente (US-EPA)
- Se da a conocer una propuesta de ley, en enero de 2010, la cual tuvo como objetivo para el 2020 reducir las emisiones de GEI en un 20%.

vii. Japón

Japón frente a temas referentes con el cambio climático ha optado por tomar como referencia los modelos u avances de otros países, teniendo cuidado con las posiciones Europeas y las de los Estados Unidos. Japón en 2002 crea el programa conocido como Eco-Leaf el cual tiene como objetivo generar una iniciativa en las empresas a tomar conciencia del impacto ambiental que están generando. Gracias a la acogida de este programa, el gobierno inició una campaña para mitigar los gases de GEI, lo que permitió el desarrollo de un sistema de Huella de Carbono conocido como CFS (Carbon Footprint System) con el fin de implementar un estándar nacional que regule la medición de Huella de Carbono en los productos. Los líderes del CFS han tomado como referencia el PAS2050 perteneciente a Carbon Trust, donde se mantienen bien informados de lo que sucede en Francia e Inglaterra.

Japón es un país que no está de acuerdo con implementar medidas de impuestos de Carbono y prefiere dar incentivos a las medidas voluntarias.

viii. Brasil

En el 2009 Brasil realizó contribuciones a las emisiones de GEI, al firmar el COP de Copenhague. En su plan nacional se estipulan las estrategias para combatir el cambio climático. Este plan nacional con el paso del tiempo se convirtió en la ley federal (Ley 12.187 del 9 de diciembre de 2009 [50]). Esta ley tiene como objetivo reducción de emisiones voluntarias de GEI y se estima que para el 2020 el rango de reducción debería estar entre 36,1% y 38,9 de las emisiones, para ello Brasil está ideando estrategias con el fin de cumplir lo anterior.

ix. México

En 2012 México decidió tomar la decisión de reducir las emisiones GEI en un 50% para el 2050 [51]. Para lograr este objetivo implementó un programa conocido como PECC (Programa Especial Cambio Climático). el cual permite llevar la contabilidad de los reportes de GEI, esto gracias a la ayuda de la secretaría de medio ambiente y de recursos naturales (SEMARNAT) junto con la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) [52].

El gobierno no solo le ha prestado atención a la reducción de las emisiones nacionales, también ha buscado crear conciencia entre los ciudadanos para que se enfrenten a las problemáticas del calentamiento global.

x. Argentina

El gobierno argentino ha mostrado una fuerte preocupación por los avances que han realizado la Unión Europea y los Estados Unidos, frente a productos que ellos exportan. Argentina se caracteriza por las exportaciones agrícolas, siendo este uno de los mercados más comercializados por otros países, por lo que se ha generado la percepción de que algunas medidas en términos del control de la huella de carbono han sido discriminatorias para con ellos. Una de las iniciativas que ha tenido este país, es el desarrollo de una herramienta para el cálculo de la Huella de Carbono, la cual fue elaborada por la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de que los ciudadanos puedan establecer de una forma cuantitativa las emisiones de GEI en el desarrollo de sus productos [53].

xi. Chile

Chile ha formulado unos retos basados en los proyectos europeos y estadounidenses, con el fin de que el mercado se mantenga y no afecte la competitividad tanto a nivel nacional como internacional. En su plan de acción nacional (2008-2010) introdujo la medición de la Huella de Carbono en el ciclo de vida de algunos productos como un tema prioritario. Esta estrategia tuvo apoyo económico del FIA (Fondo de Innovación Agraria) y fue implementada gracias al INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) y a una compañía de consultoría externa. Las metas que se plantearon con respecto a los vinos, uvas y quesos, fueron:

- Establecer e implementar una estrategia metodológica para calcular los índices de huella de carbono, donde se tenga en cuenta los índice de GEI y el consumo energético, en el periodo de vida de los productos; basándose en lo establecido por Europa.
- Aplicar y analizar los procedimientos que se puede inhibir para el consumo energético y los gases del efecto invernadero en los productos teniendo en cuenta factores como la ubicación y la variabilidad estacional nacional.
- Estipular un reglamento normativo teniendo en cuenta buenas prácticas que permitan reducir los índices de GEI y el aumento de eficiencia energética.
- Dar a conocer a las personas que se ven involucradas en esta situación de los resultados del estudio.

Estas iniciativas están basadas en adaptaciones de PAS 2050 y GHG Protocol. A pesar de que Chile no tiene los recursos necesarios, es un país donde se han ido fortaleciendo las bases con estrategias y recursos referentes con la huella de carbono, con el fin de seguir exportando a países europeos y a los Estados Unidos. Por iniciativas como estas, Chile es considerado en uno de los países de América Latina que más ha trabajado con respecto a la medición de la huella de carbono.

xii. Colombia

Al igual que Argentina, Colombia ha mostrado fuertes preocupaciones frente a las mediciones en los productos exportados hacia Estados Unidos y Europa, a pesar de esto se ha podido observar una mejora en la toma de conciencia por parte de los ciudadanos, es el caso de los estudios que se han desarrollado con las emisiones de huella de carbono en

las flores (producto principalmente exportado hacia Europa), en lo cual se destacó que Colombia tiene unos procesos menos carbonizados en comparación con los de Europa.[12]

Algunos esfuerzos relacionados con la estimación de la Huella de Carbono se han evidenciado fundamentalmente desde el ámbito privado. Muestra de esto es Bayer, la cual por iniciativa propia realizó mediciones de huella de carbono en el municipio de Envigado [54], a este tipo de iniciativas se fueron sumando compañías como Ecopetrol [55] y Metapetroleum que se motivaron a realizar mediciones de huella de carbono como parte de su preocupación por el medio ambiente. Así mismo, y de acuerdo con el Ministerio de Ambiente, existen alrededor de 29 proyectos anuales a nivel nacional, enfocados en la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, donde se estima que disminuyen alrededor de 4,4 millones de toneladas de CO₂ [56].

Uno de estos proyectos en Colombia, es la hidroeléctrica “La vuelta y la herradura”, la cual cuenta con una capacidad de emisión de 31,5 MW, para suplir la demanda energética del oeste de Antioquia, a su vez, el proyecto de energía eólica llamado Jepirachi hace uso de fuentes de energía renovables para generar un servicio de consumo que además de ser sostenible, ayuda a disminuir la emisión de CO₂. Este proyecto aporta por año una reducción de 25.630 toneladas de dióxido de carbono [57].

Por su parte, Metroplús y Transcaribe se han sumado se ha sumado a la contribución del medio ambiente sostenible, aportando con una reducción de CO₂ de 60 mil y 15 mil toneladas anuales de CO₂ [58] respectivamente.

Un dato importante en Colombia que es considerado como uno de los pocos países en todo el mundo que midió la huella de carbono al realizar un evento. Esto fue realizado mientras se llevaba a cabo el mundial sub-20 de fútbol de 2011. Gracias a esto, se pudo contribuir a la meta establecida por las Naciones Unidas de tener una disminución de CO₂ de 90 mil toneladas aproximadamente para finales del año 2014 [56].

4. DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL USO DE LAS TIC EN COLOMBIA

En este capítulo se busca recopilar la visión que tienen algunos expertos relacionada con las diferentes formas de cuantificar las emisiones de gases de efecto de invernadero, con el fin de evaluar cuál debería ser la que se sugiera utilizar para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia. Para realizar esto, se tendrá como referencia lo revisado en capítulos anteriores y se sumará a ello la visión dada por los expertos para definir los niveles necesarios para elegir una metodología sobre otra, así como los criterios y subcriterios que se necesitan para poder valorar adecuadamente las alternativas seleccionadas.

4.1 LA TOMA DE DECISIONES.

El ser humano en los diferentes escenarios y condiciones debe tomar decisiones en la vida cotidiana. Por ciertos momentos las personas tienen diferentes alternativas para una determinada situación y deben elegir la opción basándose en la que mejor satisface las necesidades puntuales de la decisión [59]. Para las distintas experiencias que el ser humano tiene a lo largo de su vida, es normal que la base de la toma de decisiones sea la experiencia acompañada de la subjetividad inherente en todos los individuos, sin embargo, el hecho de tomar una decisión basada en estos criterios no necesariamente hace que la decisión tomada sea la más acertada [60]. Por ejemplo el Gobierno de Colombia tiene una campaña indicando “Las drogas pueden cambiar tus planes, métele mente y decide” invitando a los jóvenes a reflexionar frente al impacto del consumo de drogas, prepararse en la toma de decisiones significa prevenir el consumo de drogas, algunas veces las decisiones se toman por la presión de grupo o la integración social, concluyendo así que la decisión de consumir drogas puede cambiar el presente y el futuro de un joven, generando efectos en su proyecto de vida y relaciones con su familia [61].

Lo que define una buena decisión, es el procedimiento o el medio a través del cual se logra definir que hacer o que ruta seguir, habiendo contemplado los diferentes criterios y actores que intervienen en la decisión. Es por esto, que la percepción de una buena decisión no necesariamente depende de los buenos resultados que puede conllevar esta, sino como se

dirigió su aplicación. Por consiguiente, el proceso que se adopte para tomar una decisión, tiene importancia al momento de escoger o señalar una alternativa frente a las demás, de este modo hay una vía para sustentar cuál de las opciones fue la más indicada entre las diferentes alternativas. Normalmente una buena decisión cumple con las siguientes características [62]:

- Selección y proyección de la decisión con la que se busca conseguir el objetivo específico.
- Recolección de datos importantes.
- Consideración de las orientaciones y prioridades de aquella persona que tome la decisión.

En la mayoría de los ámbitos, la toma de decisiones toma especial relevancia al ser considerada una actividad sensible e importante sin la cual sería imposible avanzar en el desarrollo de un proyecto. Dependiendo del tipo de proyecto, es habitual que sea necesario tomar decisiones difíciles, debido a que estas decisiones tienen efectos inmediatos sobre agentes implicados que pueden resultar afectados por la decisión a tomar y porque puede haber diferentes puntos de vista para abordar situaciones que no son sencillas de modelar y conciliar. Según [63], las razones para prestar especial cuidado al procedimiento para tomar una decisión a nivel general son las siguientes:

- Tamaño y Complejidad de los proyectos que se manejan actualmente.
- El posicionamiento que busca tener la industria en los nuevos tipos de mercados.
- Las limitantes a la hora de tomar decisiones complejas que se debe al desconocimiento de los factores que hacen parte de los proyectos, lo que conlleva muchas veces a la modificación de los objetivos, metas y principios que anteriormente estaban previstos.
- La legislación exige un alto grado de compromiso a los líderes del proyecto porque cada vez se busca garantizar una mejor calidad en servicios, productos y prestaciones a nivel de ingeniería con un seguimiento a las presentaciones de los documentos que especifiquen su modelo y modo de implementación.

Al momento de enfrentarse a la toma de una decisión, es necesario evaluar íntegramente el contexto de la problemática a solucionar, una decisión bien tomada, se apoya en el estudio y en la búsqueda del escenario que represente el menor riesgo posible, lo que se logra utilizando mecanismos que siguen métodos matemáticos rigurosos, que sirven de apoyo a la resolución del problema [63].

4.2 LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

La toma de decisiones multicriterio o MCDM por su abreviación (en inglés, Multi Criteria Decision Making), permite analizar una toma de decisiones desde diferentes puntos de vista, introduciendo una abundante serie de métodos, técnicas y conceptos [64]. El MCDM busca mediante procesos matemáticos aplicados, esquemas administrativos e investigaciones operativas, seleccionar la mejor solución (alternativa) para una decisión determinada [65]. Avances significativos en la teoría de toma de decisiones se han visto reflejados desde mediados del siglo XX, tratando de facilitar y ayudar en la toma de decisiones a personajes líderes o grandes empresarios a nivel mundial, mediante la gestión de una base de datos con el fin de recopilar información para dar soporte a la forma como se toma la decisión. En [66] y [67] se encuentran métodos como scoring, la Teoría de utilidad multiatributo (MAUT), el proceso analítico Jerárquico (PAJ) y el proceso analítico de red (ANP), entre otros.

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), es uno de los métodos más empleado para determinar la selección de tecnologías en la actualidad. En [68], [69], [70], [71], [72] emplean el método PAJ para elegir la tecnología deseable en contextos específicos, gracias a que este método realiza un análisis por medio de un método matemático por medio del establecimiento de niveles y la ayuda de expertos al momento de hacer valoraciones mediante la utilización de escalas. Por consiguiente, este método se adapta a las condiciones del estudio propuesto en este documento, teniendo en cuenta que se desea encontrar cual es la mejor metodología a implementar en la medición de la huella de carbono en Colombia. A continuación se describe el método PAJ

Descripción del método a utilizar

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ o AHP por sus siglas en inglés), ha sido desarrollado con el fin de tratar decisiones complejas gracias a que se basa en una técnica matemática estructurada estudiada y mejorada por Thomas L. Saaty. Este método ha sido ampliamente

usado como apoyo a decisiones en ámbitos de negocios, salud, gobierno, educación e industria, entre otros [73].

El uso del PAJ, inicia con la identificación de un problema y el diseño de un modelo jerárquico de forma piramidal descendente, en cuya parte superior se encuentra el objetivo principal del problema y a partir de allí se empiezan a identificar niveles de importancia, finalmente, en la parte inferior del esquema jerárquico se encuentran las alternativas a considerar y a valorar. Para el despliegue del problema de forma jerárquica es necesario tener solido conocimiento, experiencia e información del problema que se plantea [59].

Después de construir el esquema escalonado, se deben valorar por niveles todos los componentes que hacen parte del modelo jerárquico, mediante comparaciones pareadas, basadas en ratios de preferencia (si se comparan alternativas) o ratios de importancia para encontrar pesos relativos (si se comparan principios y criterios).

El método PAJ tiene ventajas con respecto a las demás técnicas, específicamente cuando los elementos son difíciles de cuantificar y comparar o cuando la comunicación entre el equipo decisor tiene diferencias notorias en terminologías, o perspectivas. Algunas de las situaciones donde se puede aplicar este método son [74]:

- Selección: Elección de una alternativa que hace parte de un conjunto de posibilidades, usualmente con características que influyen en la determinación de los criterios de decisión.
- Clasificación: Para situar un conjunto de alternativas desde la más a la menos deseable.
- Priorización: Para definir las prioridades de un conjunto de alternativas, en lugar de elegir una sólo o simplemente agruparlas según su tipo.
- Asignación de recursos: Para distribuir recursos entre un conjunto de alternativas.
- Benchmarking: Para relacionar los procesos en una organización particular con las de otra.
- Gestión de la calidad: Para guiar y direccionar los aspectos multidimensionales de la calidad y la mejora de esta.

Aun cuando puede ser usado por individuos para tomar decisiones de baja complejidad, el PAJ es más útil cuando las personas trabajan con equipos en problemas complejos, que involucran percepciones y juicios humanos, cuyas resoluciones tienen repercusiones a largo plazo [75]. Los procedimientos para usar el PAJ pueden ser resumidos de forma general de la siguiente manera [76]:

Organizar el problema en forma jerárquica.

Para utilizar el método PAJ se empieza por establecer los distintos niveles de complejidad del problema logrando que los participantes obtengan un mayor entendimiento de la situación iniciando su recorrido desde lo general hasta lo puntual. De esta forma a medida que la información se va organizando, se va diseñando una imagen del problema, que va haciéndose más clara y mejor, a medida que llega más información [76].

La jerarquía que propone el PAJ, se conforma por un objetivo general o meta, un conjunto de alternativas y un conjunto de criterios que relacionan las diferentes alternativas al objetivo planteado. De los criterios se pueden desprender criterios menores (sub-criterios) que a su vez pueden llegar a ser divididos en otros sub-subcriterios si es necesario. Un ejemplo de este modelo jerárquico en la figura 4.1, donde se aprecia la meta u objetivo en la parte superior, los criterios van en posiciones intermedias y las alternativas en el nivel inferior.

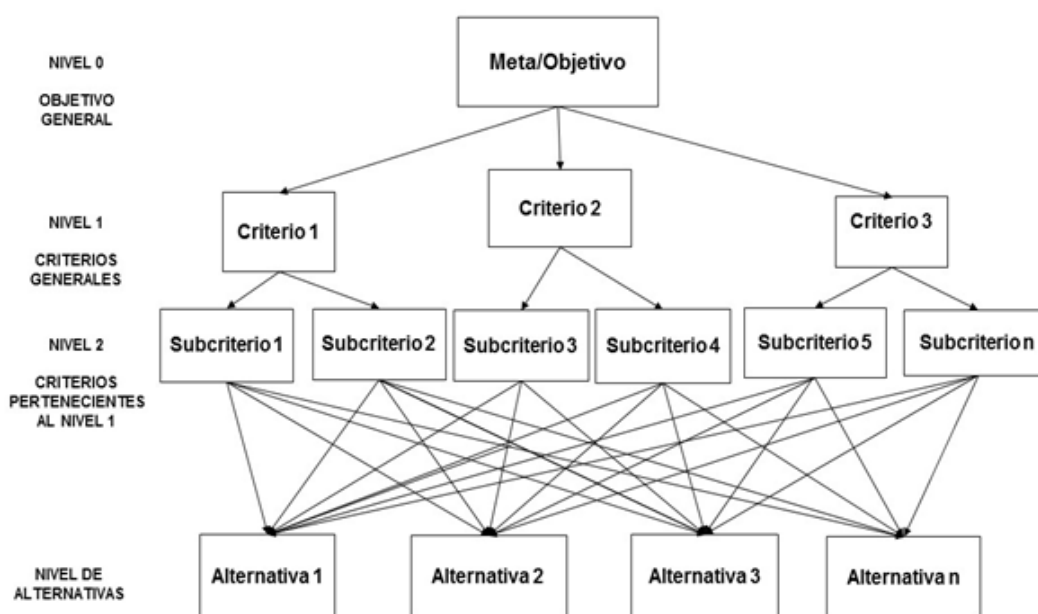


Figura 4.1. Jerarquía del modelo AHP. Adaptado de [59].

Asignar ratios de prioridad

Después de terminada la construcción de la jerarquía, para el establecimiento de prioridades se usa el proceso matemático del PAJ en cada uno de los niveles identificados. Este proceso matemático genera un vector de prioridades que corresponde a la importancia relativa de cada criterio o nivel en particular. Esta importancia relativa se realiza haciendo comparaciones por pares, teniendo en cuenta la tabla 4.1 que se muestra a continuación [59].

Tabla 4-1. Tabla de valoración directa de Saaty [77].

Escala Numérica^a	Escala Verbal	Explicación
1	Relevancia Equivalente	Ambos componentes aportan de igual forma a la propiedad o criterio
3	Relevancia moderada de un componente con respecto al otro	El juicio y la comprobación previa benefician a un componente frente al otro
5	Repetidamente un componente es más relevante que en otro	El juicio y la comprobación previa benefician mayormente a un componente frente al otro
7	Mayor relevancia de un componente	Un componente controla fuertemente y su control está medido en práctica
9	Relevancia muy superior de un componente con respecto al otro	Un componente controla al otro con el mayor orden de magnitud posible

*Los valores 2,4, 6 y 8 suelen utilizarse en situaciones intermedias, y las cifras decimales en estudios de gran precisión.

Examinar la consistencia de la relación de los juicios

Una vez cada experto ha realizado la valoración pareada para todos los elementos de un nivel, el método matemático del PAJ valora el nivel de consistencia de sus juicios, buscando que las valoraciones realizadas sean lo menos contradictorias posibles, es decir, que conserven proporcionalidad entre ellas. Para el cálculo de la consistencia de los juicios, se ha dispuesto de la tabla 4.2, en la cual se aprecian los valores de los ratios de inconsistencia

aleatoria (RIA), los cuales se relacionan dependiendo del número de elementos (n) que hacen parte de un mismo nivel evaluado.

Tabla 4-2. RIA en función del número de elementos valorados por nivel (n) [76].

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RIA	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Una vez hallado el RIA, se debe calcular el índice de consistencia o CI por sus siglas en inglés, el cual se define en la Ecuación 4.1 [76]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Teniendo en cuenta que el número de elementos valorados por cada nivel o criterio determina el tamaño de la matriz cuadrada a analizar (nxn), para hallar el valor máximo de λ es necesario hacer la suma ponderada del resultado de la multiplicación del valor de cada criterio (valores de la columna que corresponda al criterio) por el valor del vector prioridad resultante para ese criterio en particular. Una vez se hace este proceso con cada uno de los criterios, se realiza la suma ponderada por filas, este resultado se divide entre el valor del vector prioridad correspondiente a esa fila y se aplica la media para obtener el λ_{max} .

Después de hallar CI y RIA se puede calcular CR (calcular el índice de consistencia aleatoria), teniendo en cuenta la ecuación 4.2.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Para valores de 0,10 (10%) o menos para CR, se acepta la consistencia de la matriz y a su vez se admite como válido vector de prioridad resultante. El umbral para n=3 se fija en 0,05 (5%) y para n=4 en 0,08 (8%). Para n=5, si CR es mayor que 0,10 se deben analizar nuevamente los juicios emitidos.

Determinación de la decisión final

Después de llevar a cabo cada uno de los procesos que se explicaron anteriormente, queda como paso final la ponderación para cada alternativa considerada, para esto, se hace necesario que cada uno de los criterios encontrados sea evaluado en cada una de las alternativas establecidas. A estas valoraciones se les aplica un método de normalización que conserve proporcionalidad (método de la suma o distributivo, y el método del mayor o también llamado ideal), y a cada una de esas normalizaciones se les multiplica por el valor

del vector prioridad de cada uno de los subcriterios y criterios correspondientes dentro de la jerarquía [78].

4.3 DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA MEDIR LA HUELLA DE CARBONO EN EL USO DE LAS TIC EN COLOMBIA

La determinación de la metodología se realiza con base en el método del proceso analítico Jerárquico, el cual, permite trabajar con gran cantidad de información, facilita la agregación de opiniones y valoraciones de diferentes expertos, la comprensión del método es sencilla para las personas que lo desconocen y permite medir el nivel de consistencia de los juicios de los expertos. Por último, es posible realizar un análisis de sensibilidad, el cual es realizado a través del software Expert Choice, lo que facilita la forma de presentar comparaciones entre las diferentes alternativas al variar los pesos de niveles y criterios.

Al momento de utilizar el PAJ se tienen en cuenta la opinión de expertos, mediante la cual se hace la selección de los criterios de decisión, que son necesarios para poder completar el análisis propuesto en este capítulo. Los pasos que se siguen para su desarrollo de forma mucho más puntual son [76]:

1. Identificación del objeto de estudio.
2. Elección de las alternativas.
3. Elección de expertos.
4. Elección de los criterios de decisión.
5. Análisis de dominancia
6. Ponderación de los criterios.
7. Valoración de las alternativas según cada criterio.
8. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas.
9. Análisis de resultados.

A continuación en la Figura 4.1, se muestra el desarrollo de cada uno de estos 9 pasos de una manera corta, durante el capítulo se desarrolla cada uno con sus expresiones matemáticas y matrices si se requieren.

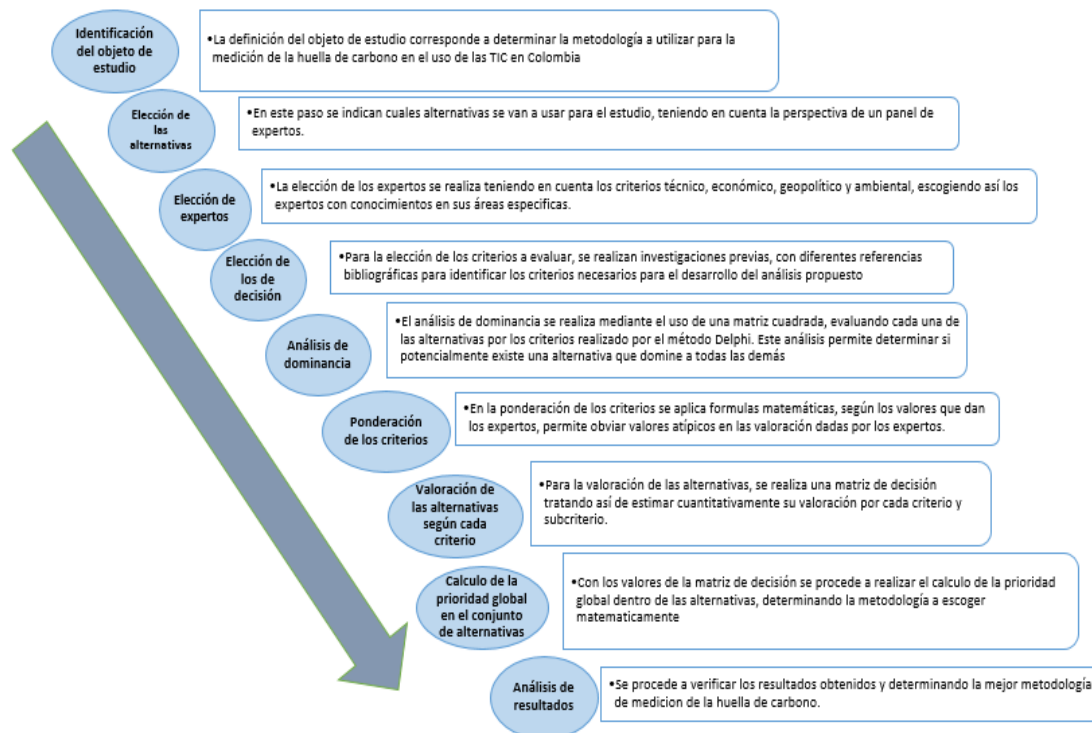


Figura 4.2.Pasos para la Toma de Decisiones. Fuente Autor

1. Identificación del objeto de estudio

La definición del objeto de estudio corresponde a determinar la metodología a utilizar para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia.

2. Elección de alternativas:

Las metodologías de medición de la huella de carbono permiten que cada entidad y compañía puedan realizar un análisis de CO₂, que para este caso en particular se enfoca en el sector de las telecomunicaciones. A continuación, se enumeran las alternativas que se consideraron para este estudio, teniendo en cuenta su pertinencia medida desde la perspectiva de un panel de expertos, según criterios técnicos, económicos, geopolíticos y ambientales, evidenciadas en el Anexo. Cabe resaltar que las alternativas seleccionadas se abordaron en el capítulo 2 de este documento. Las metodologías de medición consideradas en el análisis son las siguientes:

- **GHG**
- **BILAN CARBONE**
- **PAS 2050**
- **PAS 2060**
- **MC3**

3. Elección de los expertos

La elección de los expertos se realizó teniendo en cuenta los criterios técnicos, económicos, geopolíticos y ambientales que se definieron previamente y sobre los cuales se hacía necesario encontrar opiniones especializadas. Se escogieron aquellos expertos que tenían un conocimiento en sus áreas específicas, lo cual ayudó a la valoración cuantitativa, realizada para la identificación de los pesos de los criterios requeridos en el desarrollo del método AHP. Los siguientes perfiles corresponden a los expertos que colaboraron con este estudio:

Experto 1: Ingeniero Electrónico, especialista en Gerencia de Proyectos de ingeniería de telecomunicaciones, especialista en Gerencia técnica de proyectos de ingeniería electrónica y Magíster en ingeniería de software y sistemas informáticos. A nivel laboral, con experiencia de más de 15 años en el sector público y el sector privado en el área de televisión, actualmente se encuentra como ingeniero supervisor del área de emisión de la RTVC, televisión pública nacional. El experto en la parte tecnológica junto económica, de análisis de cada una de las alternativas y sus criterios.

Experto 2: Ingeniero Civil, especialista en Gerencia de Proyectos de Telecomunicaciones, actualmente se encuentra como aspirante a Magister en Telecomunicaciones y regulación TIC. A nivel laboral, se ha desempeñado como ingeniero residente de construcción de redes externas de cobre, director de obras de construcción de redes de cobre y fibra óptica, ha desempeñado cargos como especialista senior en gerencia de proyectos de Telecomunicaciones, gerencia de proyectos, director operativo de proyectos de infraestructura en entidades públicas como el MINTIC. Experto en la parte ambiental y económica.

Experto 3: Ingeniero Electrónico, con especialización en Gerencia de Proyectos de ingeniería de telecomunicaciones y Magister en Telecomunicaciones y Regulacion TIC, PMP- Project Management Professional. 10 años de experiencia profesional en el sector público y privado, con amplio conocimiento en RF. Experto en la parte geopolítica, tecnológica y económica.

4. Elección de los criterios de decisión

Para la elección de los criterios a evaluar, se realizó una investigación previa revisando diferentes fuentes bibliográficas, con el fin de que los expertos identificaran aquellos criterios necesarios para el desarrollo del análisis propuesto. Una vez revisadas las referencias bibliográficas, se procedió a generar un listado preliminar de criterios, con el fin de que los expertos dieran su opinión sobre cada uno de ellos, utilizando para este propósito la técnica Delphi [78]. Una vez concertados los criterios por parte de los expertos, se seleccionaron los diferentes niveles de prioridad a los que pertenecían cada uno de ellos. A continuación, se describen los criterios seleccionados y se discriminan en 5 niveles teniendo en cuenta el nivel jerárquico al que corresponden:

Nivel Tecnológico: Para este nivel se asocian aspectos que hacen parte de las necesidades técnicas para el uso de las metodologías de medición, en este nivel se encuentran los siguientes criterios hijos:

- 1. Gases Incluidos:** Es importante e indispensable evaluar que gases se incluyen en cada metodología para la medición y como se afecta para el medio ambiente para así tener un aire menos contaminado.
- 2. Afinidad con el sector de las Telecomunicaciones:** Como se está evaluando el criterio tecnológico es necesario que las metodologías tengan una afinidad con las telecomunicaciones y una relación directa con las nuevas tecnologías que se presentan día a día.
- 3. Facilidad de Comprensión Técnica:** Es necesario que para la medición de las metodologías tengan una fácil comprensión en el aspecto técnico y tecnológico para así poder dar valores reales de cada metodología y poder darle su aplicación y uso.

4. **Propone Matemáticamente Un Modelo de Medición:** Al tener una fácil comprensión técnica de las metodologías de medición es necesario ponderar y darle un valor real a cada una, por esto se revisa y se propone un modelo matemático.

Nivel Económico: Para el criterio económico se deben evaluar aspectos financieros y monetarios que deben ser tenidos en cuenta para la implementación de algunas de las metodologías evaluadas, estos criterios se refieren a licencias, software y gastos que se detallan a continuación:

1. **Licencia:** La licencia se debe tener en cuenta ya que hace referencia al uso del programa y el costo que puede tener la misma, o si es de uso gratuito para cada una de las metodologías
2. **Guía Para El Usuario:** Se debe tener en cuenta la existencia de una guía para que al usuario pueda realizar una comprensión técnica con mayor facilidad sin generar un costo adicional.

Nivel Geopolítico: En este aspecto se valora el impacto a nivel político, geográfico y social, en donde se puede evaluar cada metodología de medición, es decir, si se puede aplicar para un solo país o se puede aplicar a nivel mundial.

1. **Se Especifica Para Un País:** Se evalúa si se puede especificar para un solo país o se puede dar un uso a nivel mundial cada una de las metodologías de medición.
2. **Aplicabilidad en Sitio:** Se evalúa si solo se puede aplicar a un sitio específico o determinado cada una de las metodologías de medición.
3. **Aplicabilidad en Territorio:** Se evalúa si solo se puede aplicar a un determinado territorio cada una de las metodologías de medición
4. **Aplicabilidad a Producto:** Se evalúa si solo se puede aplicar a un producto específico cada una de las metodologías de medición.
5. **Relación con el Protocolo de Kioto:** Se evalúa si se tiene relación con el protocolo de Kioto cada una de las metodologías de medición ya que este protocolo es de vital importancia ambiental al momento de medir la huella de carbono

Nivel Ambiental: Este aspecto valora el impacto que una metodología tendría potencialmente para reducir la huella de carbono en el medio ambiente. En la medida que el impacto sea menor, mejor será la valoración de una metodología sobre criterios particulares de este nivel.

1. **Función de Recomendación de Reducción:** Se evalúa si se tienen recomendaciones para la reducción de la huella de carbono. Es necesario evaluar el criterio ambiental en función a la reducción de la misma.
2. **Función de Recomendación de Compensación:** Se evalúa en base como se va a retribuir el daño medio ambiental por los impactos y efectos negativos que se dan por la emisión de gases, es decir, como la metodología escogida compensa de manera positiva, reduce y mitiga la huella de carbono.

5. Análisis de Dominancia

El análisis de dominancia se realiza mediante el uso de una matriz cuadrada donde se evalúan cada una de las alternativas criterio por criterio, observando el número de veces que cada una de ellas domina a las demás en el total de criterios evaluados y este indicador se muestra en términos de porcentaje; esto se realiza por el método Delphi que consiste en una consulta a expertos bajo el tema de análisis de los temas específicos escogidos, a través de un cuestionario que se presenta de manera anónima [77]. El cuestionario utilizado se puede visualizar en el anexo A. Este análisis permite determinar si potencialmente existe una alternativa que domine a todas las demás en todos los criterios (óptimo de Pareto). Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 4.3 en valores porcentuales determinando que tanto domina una alternativa frente a la otra.

Tabla 4-3. Matriz de dominancia

	GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
GHG PROTOCOL	0%	31%	54%	54%	69%
BILAN CARBONE	0%	0%	46%	54%	54%
PAS 2050	8%	15%	0%	23%	46%
PAS 2060	23%	31%	31%	0%	31%
MC3	8%	8%	38%	15%	0%

En el caso particular del valor correspondiente al 31% indica que la metodología BILAN CARBONE domina en el 31% de los criterios evaluados con respecto a la metodología GHG PROTOCOL. Se evidencia así mismo, que ninguna de las alternativas tuvo un 100%

de dominancia sobre las demás, por lo que se hace necesario calcular el índice de dominancia (D_i/d_i), para obtener una mejor comprensión de los datos. Vale la pena aclarar, que el indicador D_i corresponde a la sumatoria de las filas evaluadas y d_i a la de las columnas. Estos resultados se aprecian en la tabla 4.4

Tabla 4-4. Matriz de dominancia con índices de dominancia

	GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3	D_i	D_i/d_i
GHG PROTOCOL	0	4	7	7	9	18	3,6
BILAN CARBONE	0	0	6	7	7	20	1,81
PAS 2050	1	2	0	3	6	12	0,54
PAS 2060	3	4	4	0	4	15	0,78
MC3	1	1	5	2	0	9	0,34
d_i	5	11	22	19	26		

En esta tabla se evidencia, que las alternativas con mayor índice de dominancia son BILAN CARBON con un D_i de 20, GHG PROTOCOL con un D_i de 18 y PAS 2060 con un D_i de 15, los cuales corresponden a índices de 1.81, 3.6 y 0.78 respectivamente. Por último, la metodología PAS 2050 con un índice de 0.54 y MC3 con un índice de 0.34, lo que convierte a esta última en la metodología con el menor índice de dominancia (más dominada). Para el cálculo de D_i de 20 corresponde a la suma de los valores obtenidos de realizar la comparación de la matriz de decisión, es decir, que tan dominante es una alternativa sobre la otra.

6. Ponderación de los criterios

La ponderación de cada uno de los criterios se realizó aplicando la media geométrica sobre los valores que dieron los expertos, esta técnica permite obviar valores atípicos en las valoraciones dadas por los expertos. A continuación, los resultados de este proceso se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4-5. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles

	Tecnológico	Económico	Geopolítico	Ambiental	SUMA	Vector Prioridad
Tecnológico	0,561	0,7059	0,449	0,337	2,054	0,5137
Económico	0,148	0,186	0,3929	0,313	1,041	0,2604
Geopolítico	0,1485	0,056	0,118	0,264	0,588	0,1471
Ambiental	0,141	0,050	0,038	0,085	0,315	0,0789
Σ (Columnas)	1	1	1	1	4	1

Esta tabla resume los valores encontrados para la columna denominada vector prioridad, donde los valores obtenidos están normalizados y representan el peso de cada uno de los criterios evaluados. Para dar claridad a la tabla, el valor de 0,5137 obtenido por el criterio tecnológico, se interpreta como el 51,37% del peso total posible. Esto indica que el criterio tecnológico tiene el mayor peso entre los demás criterios, seguido por el criterio económico, geopolítico y ambiental, con valores del 26%, 14,7% y 7,89%, respectivamente.

A continuación, las tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 muestran los resultados de los pesos de cada uno de los subcriterios evaluados.

Tabla 4-6. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Tecnológico

	Gases Incluidos	Afinidad con el sector de las telecomunicaciones	Facilidad de comprension tecnicá	Propone matematicamente un modelo de medicion	Vector Prioridad
Gases Incluidos	1,00	2,884	3,556	2,5198	0,454
Afinidad con el sector de las telecomunicaciones	0,35	1	3,914	3,301	0,299
Facilidad de comprension tecnica	0,28	0,255	1	2,289	0,139
Propone matematicamente un modelo de medicion	0,40	0,302	0,436	1	0,105
Σ (Columnas)	2,02	4,44	8,91	9,11	1

Tabla 4-7. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico

	Licencia	Guía para el usuario	Vector Prioridad
Licencia	1,00	1,587	0,61
Guía para el usuario	0,63	1	0,39
∑ (Columnas)	1,63	2,587	1

Tabla 4-8. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental

	Función de recomendación de reducción	Función de recomendación de compensación	Vector Prioridad
Función de recomendación de reducción	1,00	2,080	0,6753
Función de recomendación de compensación	0,48	1	0,3246
∑ (Columnas)	1,48	3,080	1

Tabla 4-9. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Geopolítico

	Se especifica para un país	Aplicabilidad Sitio	Aplicabilidad Territorio	Aplicabilidad Producto	Relación con el protocolo de Kioto	Vector Prioridad
Se especifica para un país	1,00	2,289	2,519	2,714	1,817	0,345
Aplicabilidad Sitio	0,44	1	2,289	2,714	1,817	0,242
Aplicabilidad Territorio	0,40	0,436	1	2,466	1,8171	0,171
Aplicabilidad Producto	0,37	0,368	0,405	1	2,2894	0,128
Relación con el protocolo de Kioto	0,55	0,550	0,550	0,436	1	0,112
Σ (Columnas)	2,75	4,644	6,765	9,331	8,740	1

7. Valoración de las alternativas según cada criterio

Para realizar la valoración de las alternativas propuestas en cada uno de los criterios, los expertos asignaron valores a cada una de ellas, tratando así de estimar cuantitativamente su valoración por cada criterio y subcriterio. Para obtener la matriz de decisión, se aplicó nuevamente la media geométrica a las valoraciones que dieron los expertos y finalmente se normalizaron los valores obtenidos (por el método de normalización de la suma también llamado distributivo y por el método de normalización del mayor valor también conocido como el ideal), los cuales son mostrados en las Tablas 4.10 y 4.11 respectivamente.

Tabla 4-10. Matriz de Decisión (Normalizada por la suma)

NIVELES / CRITERIOS		METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN				
		GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
Tecnológico	Gases Incluidos	0,188	0,188	0,281	0,281	0,063
	Afinidad con el sector de las Telecomunicaciones	0,280	0,24	0,12	0,12	0,24
	Facilidad de comprensión técnica	0,308	0,308	0,115	0,115	0,154
	Propone matemáticamente un modelo de medición	0,45	0,4	0,05	0,05	0,05
Económico	Licencia	0,31	0,31	0,31	0,034	0,034
	Guía para el usuario	0,31	0,31	0,31	0,034	0,034
Ambiental	Función de recomendación de reducción	0,167	0,042	0,042	0,375	0,375
	Función de recomendación de compensación	0,077	0,077	0,077	0,692	0,077
Geopolítico	Se especifica para un país	0,257	0,114	0,257	0,257	0,114
	Aplicabilidad Sitio	0,243	0,243	0,027	0,243	0,243
	Aplicabilidad Territorio	0,243	0,243	0,027	0,243	0,243
	Aplicabilidad Producto	0,310	0,310	0,310	0,034	0,034
	Relación con el protocolo de Kioto	0,265	0,265	0,206	0,206	0,059

Tabla 4-11. Matriz de Decisión (Normalizada por el mayor valor)

NIVELES / CRITERIOS		METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN				
		GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
Tecnológico	Gases Incluidos	0,667	0,667	1,000	1,000	0,222
	Afinidad con el sector de las Telecomunicaciones	1,000	0,857	0,429	0,429	0,857
	Facilidad de comprensión técnica	1,000	1,000	0,375	0,375	0,500
	Propone matemáticamente un modelo de medición	1,000	0,889	0,111	0,111	0,111
Económico	Licencia	1,000	1,000	1,000	0,111	0,111
	Guía para el usuario	1,000	1,000	1,000	0,111	0,111
Ambiental	Función de recomendación de reducción	0,444	0,111	0,111	1,000	1,000
	Función de recomendación de compensación	0,111	0,111	0,111	1,000	0,111
Geopolítico	Se especifica para un país	1,000	0,444	1,000	1,000	0,444
	Aplicabilidad Sitio	1,000	1,000	0,111	1,000	1,000
	Aplicabilidad Territorio	1,000	1,000	0,111	1,000	1,000
	Aplicabilidad Producto	1,000	1,000	1,000	0,111	0,111
	Relación con el protocolo de Kioto	1,000	1,000	0,778	0,778	0,222

8. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas

Teniendo los valores de la matriz de decisión por ambos métodos de normalización, se realizó la multiplicación directa de cada valor normalizado por el valor del vector prioridad de cada criterio y subcriterio, dependiendo del nivel jerárquico correspondiente. Así mismo para poder determinar matemáticamente cuál es la metodología para la medición de la huella de carbono y escoger la más apropiada, se sumaron los valores que se obtuvieron en cada una de las alternativas (sumatoria de la columna correspondiente a cada alternativa evaluada). Los resultados de aplicar el método AHP a la matriz de decisión aplicando la normalización por el método distributivo y el método ideal se evidencian en las tablas 4.12 y 4.12, respectivamente.

Tabla 4-12. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo)

NIVELES / CRITERIOS		METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN				
		GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
Tecnológico	Gases Incluidos	0,044	0,044	0,066	0,066	0,015
	Afinidad con el sector de las Telecomunicaciones	0,043	0,037	0,018	0,018	0,037
	Facilidad de comprensión técnica	0,022	0,022	0,008	0,008	0,011
	Propone matemáticamente un modelo de medición	0,024	0,022	0,003	0,003	0,003
Económico	Licencia	0,050	0,050	0,050	0,006	0,006
	Guía para el usuario	0,031	0,031	0,031	0,003	0,003
Ambiental	Función de recomendación de reducción	0,009	0,002	0,002	0,020	0,020
	Función de recomendación de compensación	0,002	0,002	0,002	0,018	0,002
Geopolítico	Se especifica para un país	0,013	0,006	0,013	0,013	0,006
	Aplicabilidad Sitio	0,009	0,009	0,001	0,009	0,009
	Aplicabilidad Territorio	0,006	0,006	0,001	0,006	0,006
	Aplicabilidad Producto	0,006	0,006	0,006	0,001	0,001
	Relación con el protocolo de Kioto	0,004	0,004	0,003	0,003	0,001
RESULTADO GLOBAL		0,263	0,240	0,204	0,174	0,118

Para obtener una mejor comprensión e interpretación de la tabla 4.12, se observa que el valor (0,044) correspondiente a la alternativa GHG PROTOCOL se obtiene después de multiplicar su valor (0.188) de la matriz de decisión (ver tabla 4.10), por el valor del vector prioridad del subcriterio “Gases Incluidos” (0,455) y a su vez multiplicado por el valor del criterio Tecnológico (0,514). Lo que da como resultado (0,044).

Tabla 4-13. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal)

NIVELES / CRITERIOS		METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN				
		GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
Tecnológico	Gases Incluidos	0,155	0,155	0,233	0,233	0,051
	Afinidad con el sector de las Telecomunicaciones	0,153	0,131	0,065	0,065	0,131
	Facilidad de comprensión técnica	0,071	0,071	0,026	0,026	0,035
	Propone matemáticamente un modelo de medición	0,054	0,048	0,006	0,006	0,006
Económico	Licencia	0,159	0,159	0,159	0,017	0,017
	Guía para el usuario	0,100	0,100	0,100	0,011	0,011
Ambiental	Funcion de recomendación de reducción	0,024	0,006	0,006	0,053	0,053
	Funcion de recomendación de compensacion	0,003	0,003	0,003	0,026	0,003
Geopolítico	Se especifica para un pais	0,051	0,023	0,051	0,051	0,023
	Aplicabilidad Sitio	0,036	0,036	0,004	0,036	0,036
	Aplicabilidad Territorio	0,025	0,025	0,003	0,025	0,025
	Aplicabilidad Producto	0,019	0,019	0,019	0,002	0,002
	Relación con el protocolo de Kioto	0,017	0,017	0,013	0,013	0,004
RESULTADO GLOBAL		0,263	0,241	0,209	0,164	0,120

De igual forma, para obtener una mejor comprensión e interpretación de la Tabla 4.13, se observa que el valor (0,155) que corresponde a la alternativa GHG PROTOCOL se obtiene después de multiplicar su valor (0.514) de la matriz de decisión (ver tabla 4.11), por el valor del vector prioridad del subcriterio “Gases Incluidos” (0,667) y a su vez multiplicado por el valor del criterio Tecnológico (0,455) Lo que da como resultado (0,155).

Para obtener una mejor comprensión e interpretación de la tabla 4.12, se observa que el valor (0,044) correspondiente a la alternativa GHG PROTOCOL se obtiene después de multiplicar su valor (0.188) de la matriz de decisión (ver tabla 4.10), por el valor del vector

prioridad del subcriterio “Gases Incluidos” (0,455) y a su vez multiplicado por el valor del criterio Tecnológico (0,514). Lo que da como resultado (0,044

9. Análisis de resultados

Los resultados alcanzados después de aplicar el método distributivo indican que la metodología GHG PROTOCOL logró un porcentaje del 26,1%, seguido de BILAN CARBONE con un 23,8%, PAS 2050 con un 20,2%, PAS 2060 con un 15,6%, y por último MC3 con un 11,6%. De la misma forma, aplicando el método de normalización por el ideal, se observa que los resultados se asemejan a los hallados en el método distributivo ya que la alternativa GHG PROTOCOL se encontró con un porcentaje del 26,37% posicionándose como la primera metodología a escoger, seguido de BILAN CARBONE con un 24,13%, PAS 2050 con un 20,94%, PAS 2060 con un 16,47% y por último se encuentra la metodología MC3 con un 12,09%.

Teniendo en cuenta los resultados evidenciados anteriormente, se demuestra que, aplicando los dos métodos, distributivo e ideal, se mantienen muy cercanas las posiciones, es decir, la metodología GHG PROTOCOL se posiciona como la metodología que alcanza el mayor porcentaje, seguida de BILAN CARBONE, PAS 2060, PAS 2050 y por último MC3. Lo cual indica que al momento de elegir la metodología más conveniente para la medición de la huella de carbono debería ser GHG PROTOCOL.

Posteriormente para finalizar los pasos del método usado AHP, se realizó el análisis de sensibilidad con el fin de conocer y tener más certeza de los resultados logrados anteriormente, para esto, los valores que se obtuvieron de los vectores prioridad se les realiza la variación de aumentar o disminuir su valor, mostrando posibles comportamientos en el resultado global. Este proceso permite identificar más fácilmente las áreas con más fortalezas de cada una de las alternativas, así mismo las más débiles. El escenario más interesante corresponde a la validez, si al hacer cambios, las metodologías que se posicionan en los primeros lugares siguen haciéndolo, o por el contrario cambian a posiciones diferentes (menos deseables). El proceso que se aplicó, se muestra en el siguiente capítulo.

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA SELECCIÓN REALIZADA.

Este capítulo realiza un análisis de sensibilidad para confirmar que los resultados que se obtuvieron en el capítulo anterior, sean lo suficientemente concluyentes. Para realizar este análisis, se hace uso del software Expert Choice. Esta herramienta permite generar de una forma muy intuitiva y a través de una interfaz amigable, el modelo jerárquico correspondiente al caso de estudio en cuestión. Adicional a esto, permite también variar la importancia que tienen los criterios que fueron evaluados, lo cual se ve reflejado en la modificación directa de los valores de los vectores de prioridad que fueron obtenidos matemáticamente.

5.1 MODELO JERÁRQUICO

El modelo jerárquico generado se puede observar en la Figura 5.1, se aprecia como en la parte izquierda del modelo se posiciona el objetivo de estudio a resolver y a partir de este (de izquierda a derecha) se establecen los distintos niveles (criterios y los subcriterios), sobre los cuales se valoran las alternativas.



Figura 5.1. Árbol jerárquico. Fuente: Simulador.

Ya establecido todo el modelo jerárquico, se procede a ingresar cada uno de los datos al software, los cuales corresponden a los valores hallados después de realizar la media

geométrica y de usar los valores normalizados por la suma. Este procedimiento es necesario, ya que se verifican los resultados de los cálculos realizados en Excel.

En la Figura 5.2 se muestran los valores que calcula el software (pesos) para cada criterio, donde la letra L (Local), debe interpretarse como el peso que tiene el subcriterio con relación a los otros que están en el mismo clúster. Así también la letra G (Global), corresponde al peso que tiene un criterio o un subcriterio, pero desde el punto de vista general de toda la jerarquía, es decir, el peso específico frente al objetivo planteado.

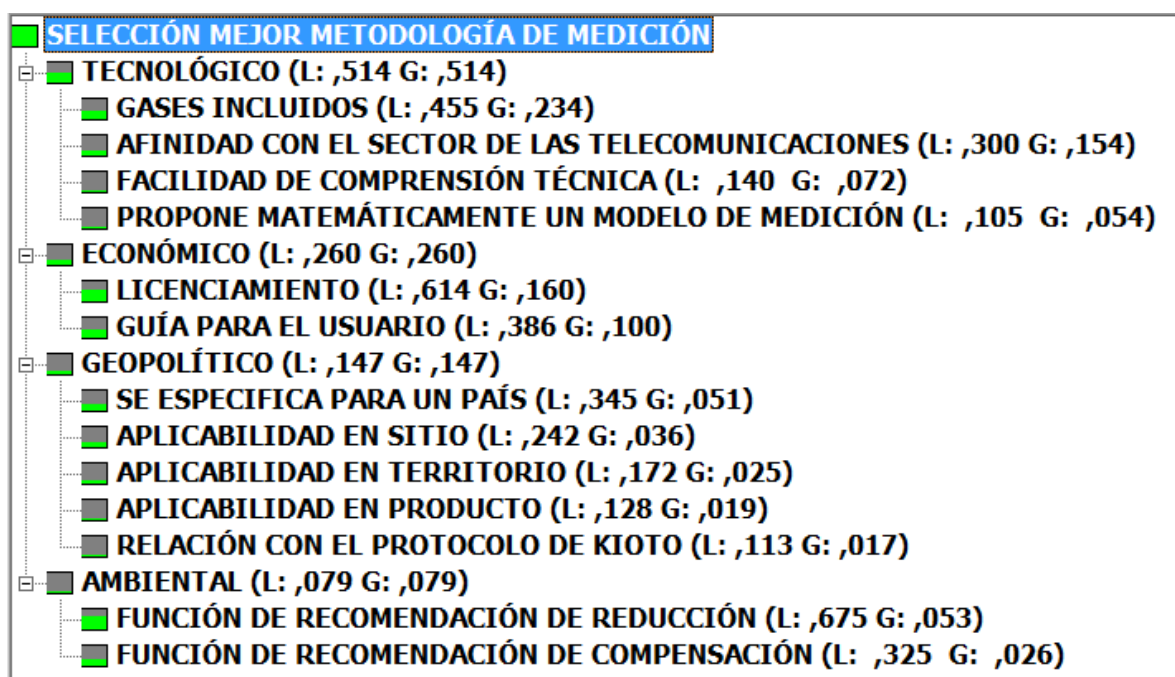


Figura 5.2. Pesos de los Niveles y Subniveles en el Expert Choice. Fuente: Simulador

En esta figura también se muestra a través de la utilización de color verde, el nivel de importancia (peso) de cada uno de los criterios y subcriterios dentro del cuadro que los precede. Este peso es proporcional al ratio de importancia de cada nivel del modelo jerárquico. Para dar claridad en este punto, se toma como ejemplo el criterio Ambiental, donde el cuadro verde muestra su participación cercana al 10% (aproximadamente el 90% del cuadro está en blanco).

Ya confirmados todos los criterios y subcriterios en verde, se procede a realizar el cálculo del resultado del modelo, tal y como se muestra en las Figuras 5.3 y 5.4. Este resultado se obtiene al aplicar los modelos ya mencionados anteriormente, distributivo e ideal con ayuda el software Expert Choice

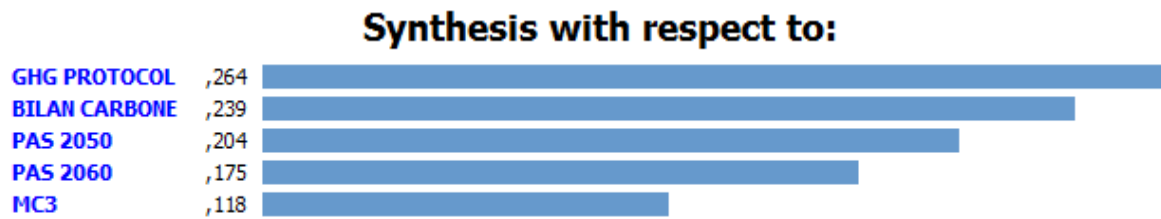


Figura 5.3. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador

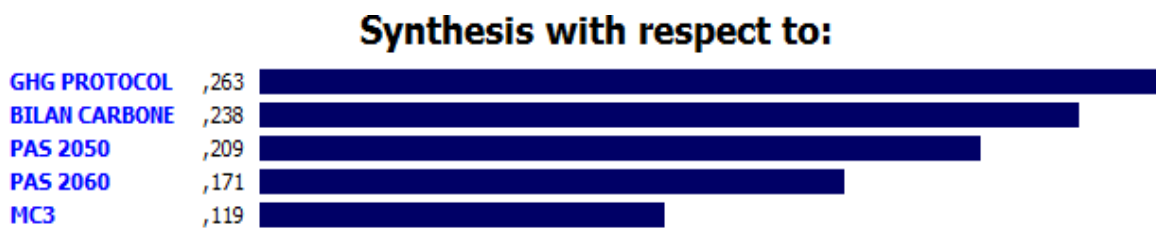


Figura 5.4. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador

Es de resaltar que el software Expert Choice en la implementación, utiliza AHP para verificar los datos que se adquieren en forma matemática, con las matrices y las operaciones. Se observa que los resultados obtenidos en el software en las Figuras 5.3 y 5.4 son prácticamente iguales a los calculados previamente en las matrices realizadas con la ayuda de Excel (ver Tablas 4.12 y 4.13). Este hecho genera tranquilidad al saber que, al haber coincidido los resultados, el análisis de sensibilidad planteado está listo para ser realizado.

5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En la Figura 5.5 se evidencia una de las características del software Expert Choice (performance), la cual permite analizar los resultados de una forma diferente, es decir, comparando los desempeños que tienen las distintas metodologías en cada uno de los criterios evaluados.

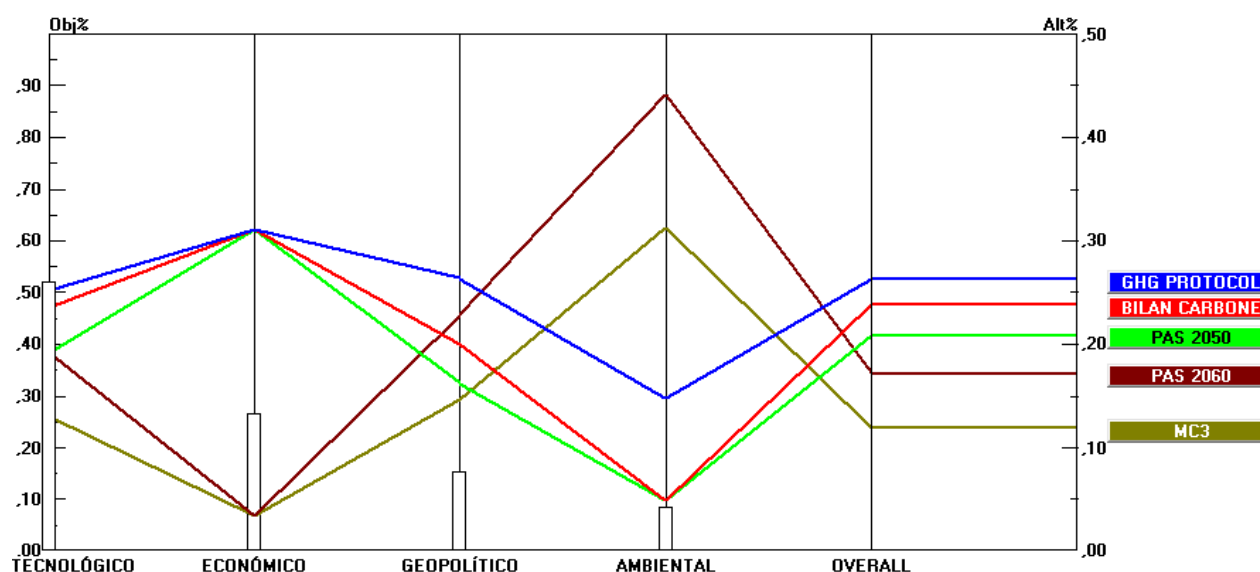


Figura 5.5. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador

Al analizar los colores generados en el entorno gráfico, se aprecia como la metodología GHG PROTOCOL (en azul) se encuentra en primer lugar (más arriba que las demás). Del mismo modo, se observa que en el segundo lugar se posiciona BILAN CARBONE (en rojo), PAS 2050 (en verde), PAS 2060 (en café) y MC3 (en gris). Se resalta el hecho que para el criterio ambiental se posiciona en primer lugar PAS 2060 seguida de MC3, lo que da a entender que estas alternativas a pesar de tener un componente ambiental muy fuerte, en el poderado total quedan superadas por las demás metodologías evaluadas. Este hecho se explica debido a que otras metodologías tienen fortalezas a nivel de los criterios tecnológico, económico y geopolítico.

A continuación, se muestran las variaciones menores al 10% sobre cada uno de los pesos de los criterios evaluados, con el fin de analizar la robustez de la ponderación realizada en el software.

1. Sensibilidad a la variación menor al 10%

Dado continuidad al análisis de sensibilidad, se puede observar que en la Figura 5.6 se realizó variación al criterio tecnológico cercano al 10% (nótese que el valor inicial para este criterio era de 51.4%). De igual forma en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 para los criterios económico, geopolítico y ambiental. Los resultados de las variaciones se consolidan en la tabla 5.1.

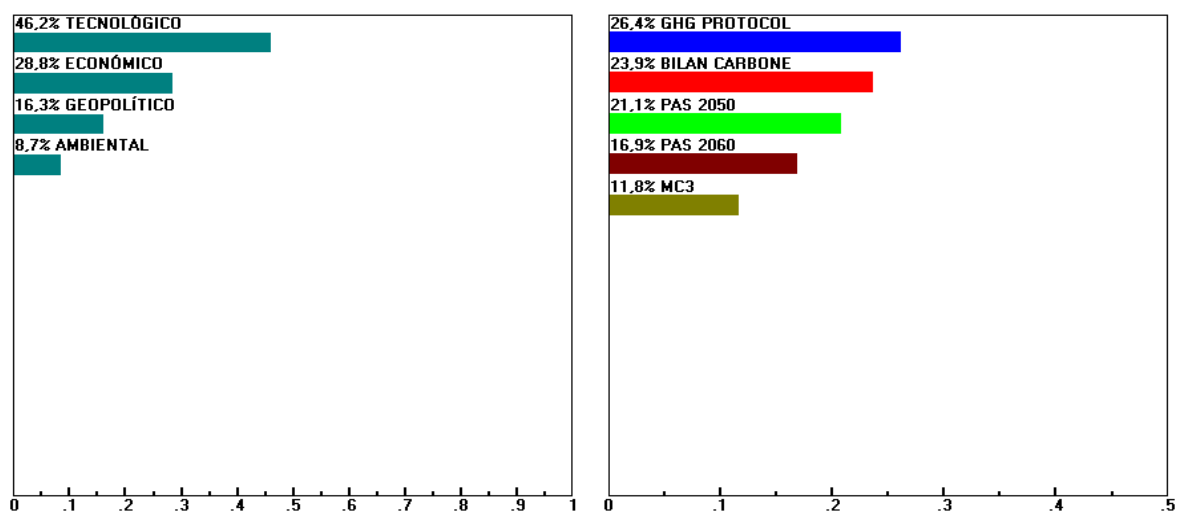


Figura 5.6. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador

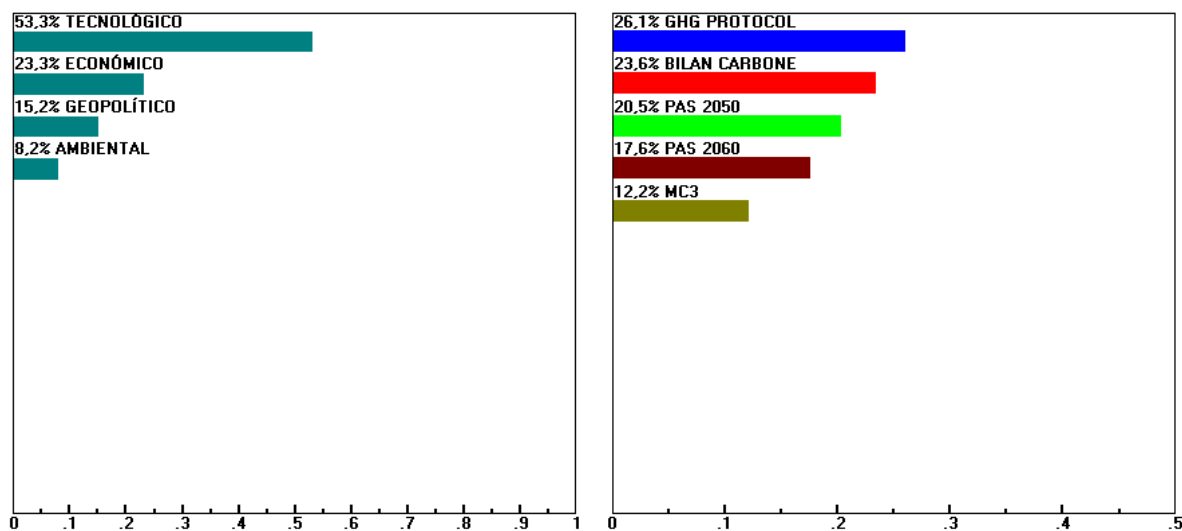


Figura 5.7. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador

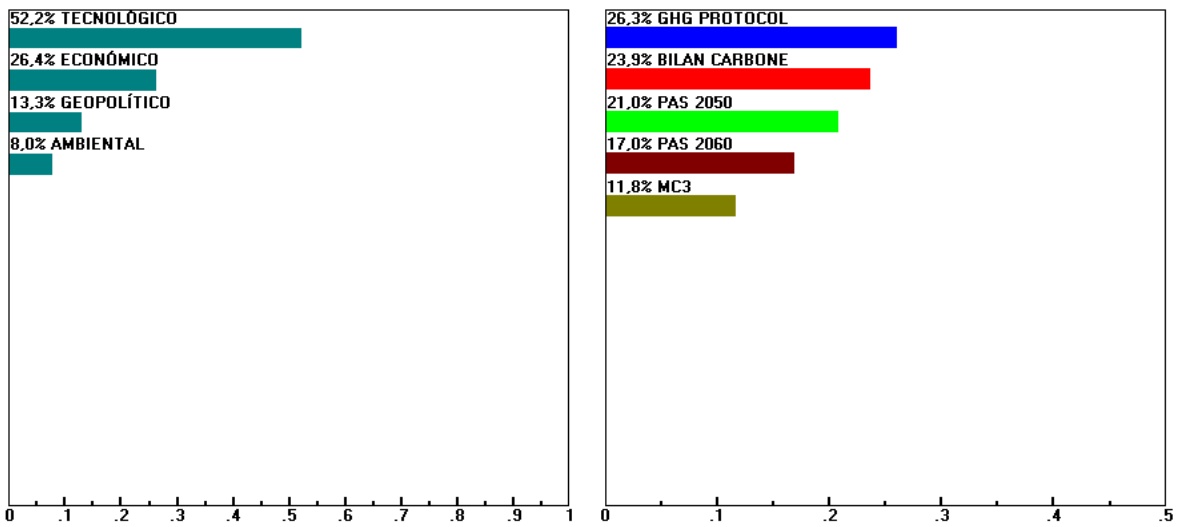


Figura 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Geopolítico. Fuente: Simulador

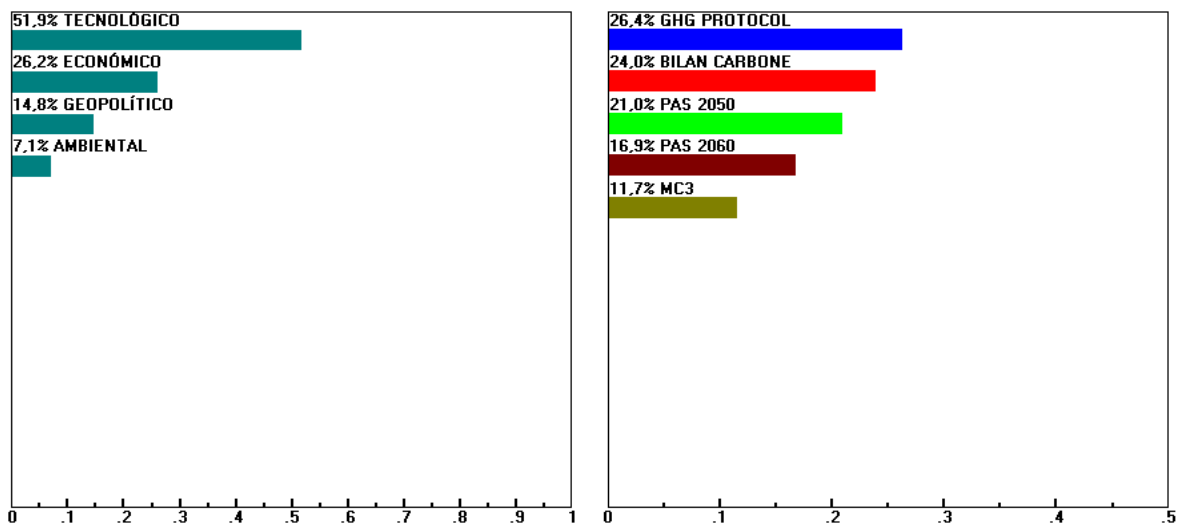


Figura 5.9. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador

Tabla 5-1. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10%

	CRITERIOS				ALTERNATIVAS				
	TECNOLÓGICO	ECONÓMICO	GEOPOLÍTICO	AMBIENTAL	GHG PROTOCOL	BILLAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
VALOR INICIAL	51,4	26,0	14,7	7,9	26,3	23,8	20,9	17,1	11,9
Sensibilidad < 10%	46,2	28,8	16,3	8,7	26,4	23,9	21,1	16,9	11,8
	53,3	23,3	15,2	8,2	26,1	23,6	20,5	17,6	12,2
	52,2	26,4	13,3	8,0	26,3	23,9	21,0	17,0	11,8
	51,9	26,2	14,8	7,1	26,4	24,0	21,0	16,9	11,7

Al realizar la variación de cada criterio, se logra observar que los valores son constantes y que su cambio es mínimo, lo que indica que la metodología GHG PROTOCOL en todas las variaciones menores al 10% sigue teniendo el primer lugar. Esto permite concluir que esta alternativa sigue posicionándose como la mejor alternativa a escoger.

Teniendo en cuenta lo realizado anteriormente, se propusieron otras variaciones adicionales, con la finalidad de ampliar el rango a variar y poder sacar conclusiones más sólidas al momento de determinar la metodología para la medición de la huella de carbono.

2. Sensibilidad a la variación mayor al 10%

A continuación, se aprecia en la Figura 5.10 el resultado de variar el peso del criterio tecnológico en alrededor de un 20%, así mismo en las Figuras 5.11, 5.12 y 5.13 se muestra lo correspondiente para el resto de criterios evaluados. En la Tabla 5.2 se evidencian los resultados consolidados de variar los pesos de los criterios para el modelo distributivo.

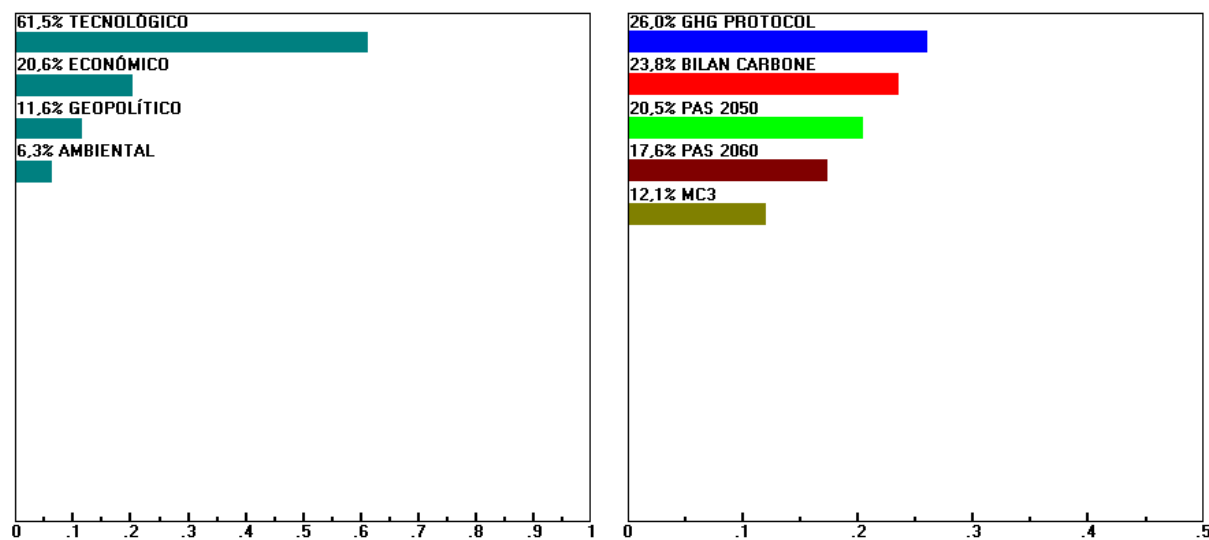


Figura 5.10. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador

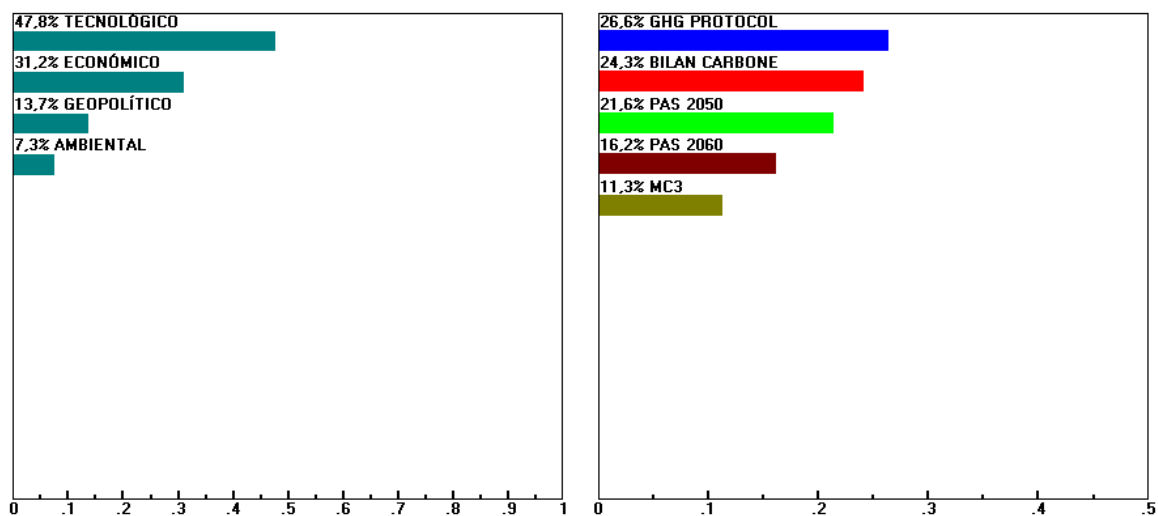


Figura 5.11. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador

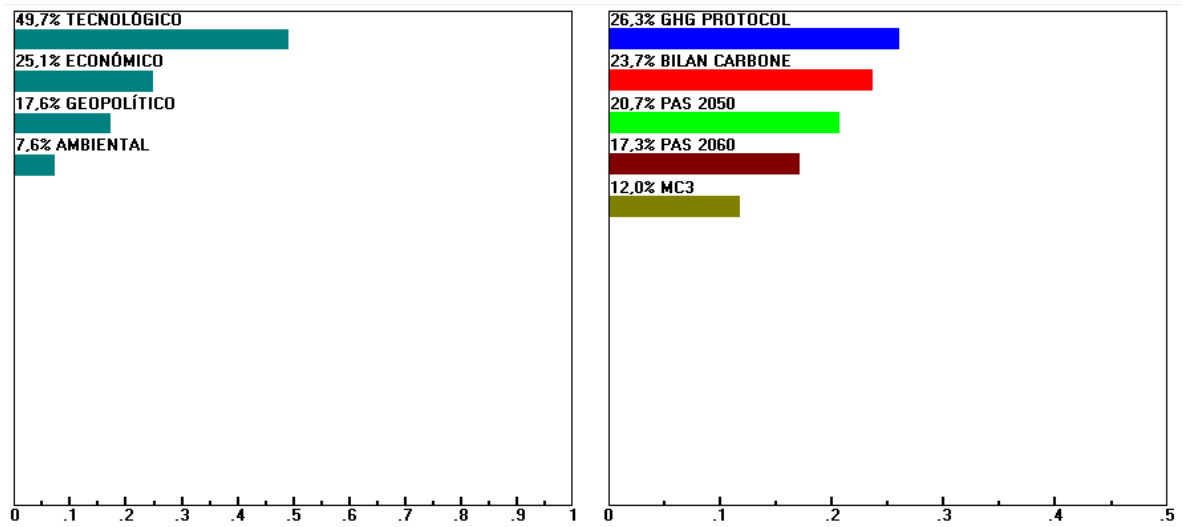


Figura 5.12. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Geopolítico. Fuente: Simulador

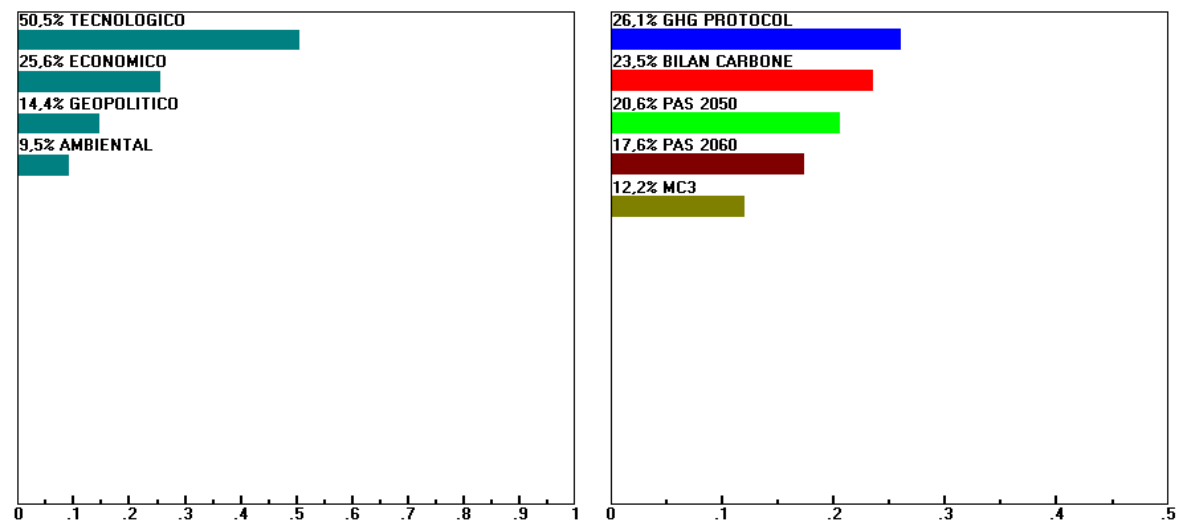


Figura 5.13. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador

Tabla 5-2. Análisis de Sensibilidad para el Modo Distributivo > a 10%

	CRITERIOS				ALTERNATIVAS				
	TECNOLÓGICO	ECONÓMICO	GEOPOLÍTICO	AMBIENTAL	GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
VALOR INICIAL	51,4	26,0	14,7	7,9	26,3	23,8	20,9	17,1	11,9
Sensibilidad >20%	61,5	20,6	11,6	6,3	26	23,8	20,5	17,6	12,1
	47,8	31,2	13,7	7,3	26,6	24,3	21,6	16,2	11,3
	49,7	25,1	17,6	7,6	26,3	23,7	20,7	17,3	12,0
	50,5	25,6	14,4	9,5	26,1	23,5	20,6	17,6	12,2

A pesar de los cambios realizados como es el aumento del más del 10%, se sigue evidenciando que la metodología GHG PROTOCOL está por encima de las otras metodologías, concluyendo así que tiene mejor desempeño sobre las otras. Así mismo, se evidencia que la tecnología BILAN CARBONE sigue ocupando el segundo lugar, seguida por PAS 2050, PAS 2060 y finalmente MC3.

3. Comparación entre Tecnologías

Con la ayuda del software Expert Choice se realizó una comparación entre las metodologías evaluadas, teniendo como punto de inicio las tecnologías que mejores resultados han obtenido hasta el momento, GHG PROTOCOL y BILAN CARBONE. En las figuras 5.14, 5.15, 5.16 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 se presenta la comparación entre las metodologías.

GHG PROTOCOL <> BILAN CARBONE

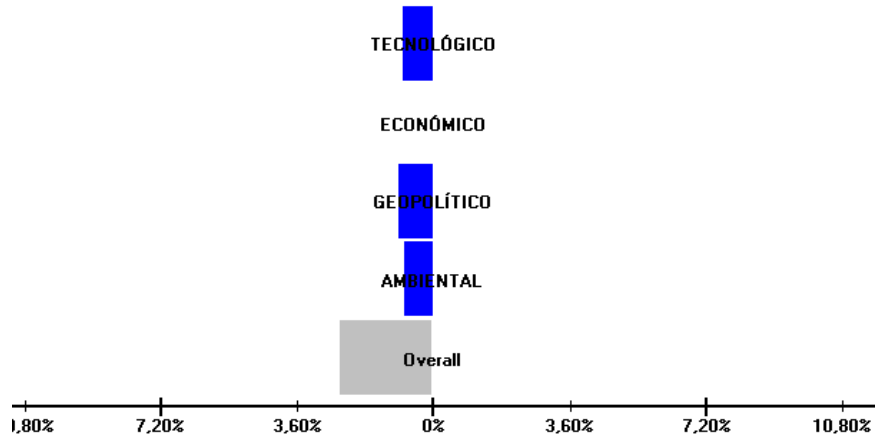


Figura 5.14. GHG PROTOCOL VS BILAN CARBONE. Fuente: Software

GHG PROTOCOL <> PAS 2050

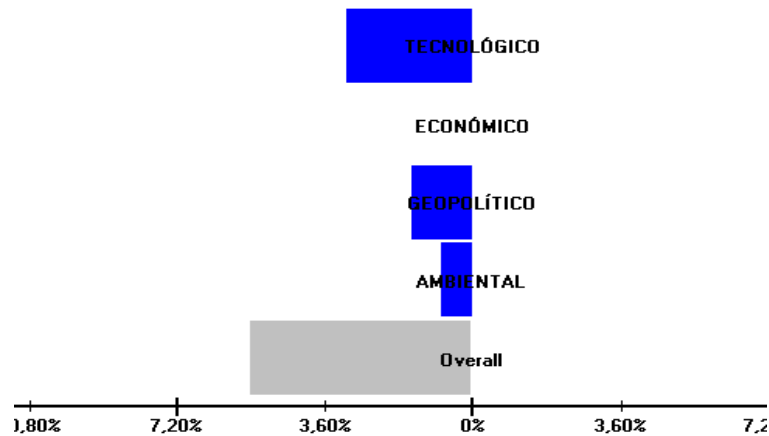


Figura 5.15. GHG PROTOCOL VS PAS 2050. Fuente: Software

GHG PROTOCOL <> PAS 2060

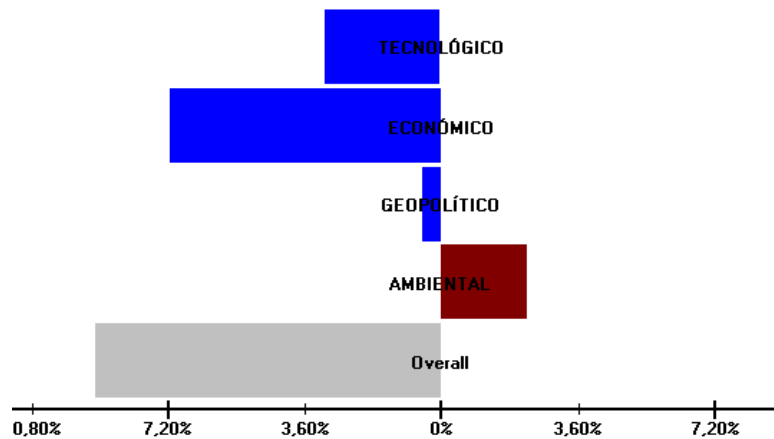


Figura 5.16. GHG PROTOCOL VS PAS 2060. Fuente: Software

GHG PROTOCOL <> MC3

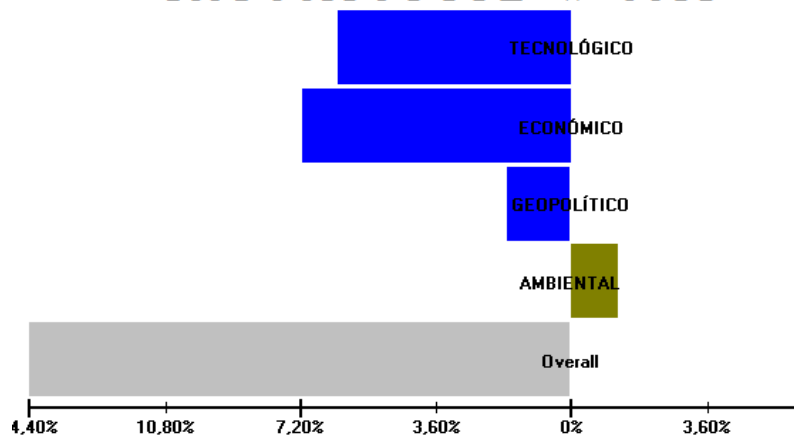


Figura 5.17. GHG PROTOCOL VS MC3. Fuente: Software

Al realizar la comparación entre las figuras 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17 se puede evidenciar y afirmar que la metodología GHG PROTOCOL tiene varias ventajas en los criterios tecnológicos, económicos y geopolíticos, ya que se puede aplicar a sitio, territorio y producto, caso contrario a la metodología PAS 2050, la cual se aplica solo a producto. Adicional esto en la parte económica, su uso es gratuito y con guías de fácil manipulación para las compañías que lo use, otra de sus ventajas son los principios con los que se fundamenta los informes de GHG PROTOCOL, alguno de ellos la precisión cuantificando emisiones de GEI, lo cual sirve

para que las empresas realicen su inventario de GEI para sus reportes y así diseñar e implemetar proyectos a futuro contibuyendo con la disminución de su propia huella de carbono. Sin embargo, en el cirterio ambiental tiene algunas desventajas con respecto a otras metodologías, como lo es PAS 2060, posiblemente por su año de implementación, ya que es una de las primeras en implementarse en el 2001.

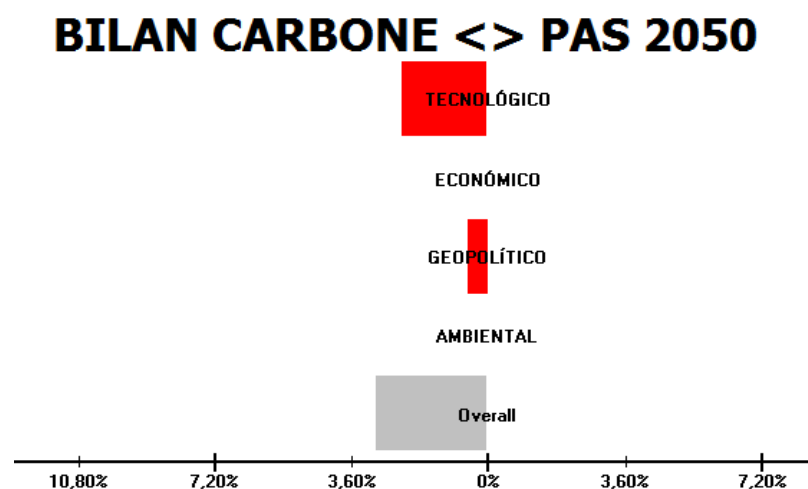


Figura 5.18. BILAN CARBONE vs PAS 2050. Fuente: Software

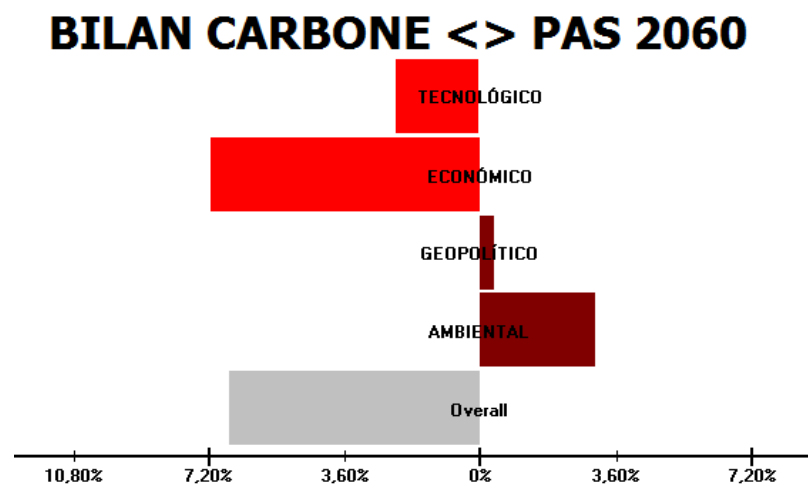


Figura 5.19. BILAN CARBONE vs PAS 2060. Fuente: Software

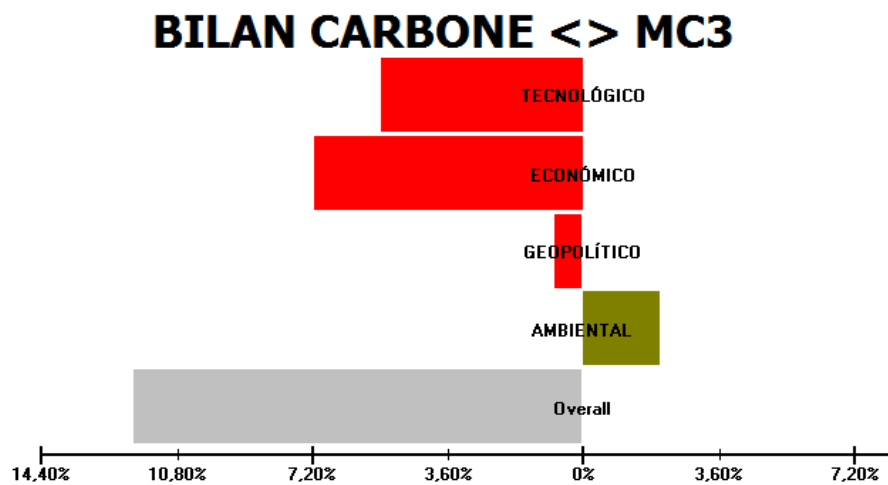


Figura 5.20. BILAN CARBONE vs MC3. Fuente: Software

Para el caso de la metodología BILAN CARBONE, En las Figuras 5.18, 5.19 y 5.20 se aprecia que a nivel general tiene un comportamiento similar al que posee la metodología GHG PROTOCOL, sin embargo, a nivel económico tiene una gran desventaja y es el costo que genera el uso del Software, adicional su implementación generaría un costo mayor por no tener un alcance a nivel mundial. Sin embargo, con relación al nivel tecnológico, tendría una buena aceptación ya brinda a las compañías la posibilidad de hacer un mapeo de todas las emisiones de GEI que puedan estar generando cualquier tipo de procesos dentro de la empresa.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La relevancia de haber considerado aspectos geopolíticos, ambientales, además de los aspectos tecnológicos y económicos, que normalmente se consideran en todo estudio de selección de una metodología de medición, se hace evidente en este análisis. La oportunidad de variar los pesos de los criterios seleccionados y analizar el ¿qué sucedería sí?, representa una fortaleza al momento de tomar decisiones y una oportunidad de tener argumentos sólidos al momento de justificar elecciones.
- A pesar de que en los resultados obtenidos por las diferentes metodologías de medición no había diferencias muy marcadas a nivel numérico, es de resaltar que la metodología que siempre se posicionó como ganadora fue GHG PROTOCOL y en segundo lugar BILAN CARBONE, seguido por la tecnología PAS 2050. Lo anterior se argumenta desde las virtudes que tienen estas metodologías ya que, a nivel de medición, ofrecen el potencial para utilizar distintas herramientas y contabilizar emisiones de GEI con características mejoradas, especialmente hablando de GHG PROTOCOL. Sin embargo, al haber contemplado criterios adicionales como ambiental, económico, geopolítico, fue posible mostrar de una forma mas realista, las posibilidades y contextos que deben ocurrir para que se pueda implementar como solución al caso de estudio realizado.
- GHG PROTOCOL tiene varias mejoras a nivel metodológico en comparación con las otras metodologías BILAN CARBONE, PAS 2050, PAS 2060 y MC3. Estas mejoras incluyen: pautas de trabajo, conjunto de herramientas para el cálculo de la huella de carbono, limites organizacionales y operacionales, transparencia, precisión relevancia, está basada en 5 procesos claves, permite cuantificar las emisiones de GEI, recolecta datos de emisión, fabrica inventarios de GEI, adicionalmente brinda a las organizaciones herramientas establecidas para el cálculo de la huella de carbono. Así mismo para mejorar ambientalmente en Colombia es necesario aplicar estos métodos en empresas publicas y privadas, adquirir bienes y servicios ambientales sostenibles, hacer uso eficiente de la energía, mejorar en tecnologías verdes.

- La medición de la huella de carbono es clave para el desarrollo de mejoras ambientales, ya que su cálculo permite a las organizaciones tener más opciones y características que faciliten la realización de su trabajo de manera óptima. Estas facilidades podrían ser pautas de trabajo, factores de emisión, herramientas de medición e inventarios de GEI, minimizando daños ambientales y efectos contaminantes emitidos por las compañías, sobre todo en los Ministerios de Colombia que generen emisiones de Gses Efecto Invernadero actualizado.
- En Colombia, el Gobierno define parámetros para aprovechar las fuentes de energía para dar un mejor manejo de los recursos energéticos. Una pregunta se abre paso al considerar la metodología GHG PROTOCOL ya que su posible implementación podría ayudar a las organizaciones públicas y privadas a cuantificar las emisiones de GEI y generar proyectos hechos por cada una de ellas, disminuyendo así las emisiones de CO2. Monitoreando la energía de manera usual en las empresas, teniendo mejoras continuas en eficiencia energética de los dispositivos móviles y redes.
- En los países Latinoamericanos los proyectos e iniciativas con respecto a la Huella de Carbono, son consideradas como algo negativo debido a que afectan los intercambios comerciales de los productos, materias primas, productos agrícolas, entre otros, por lo cual es necesario crear conciencia del daño que se va generando día a día por cada uno de los países. Por otro lado, también han considerado que para implementar estos proyectos o iniciativas es necesario contar con la ayuda de tecnologías y conocimientos. Para Colombia es necesario almacenar datos, procesar y reducir el consumo de ordenadores personales, portátiles y monitores siendo un gran grupo de mayor uso del sector TIC.
- La mayor parte de los países de América Latina se han centrado en otro tipo de retos, desistiendo a un lado lo relacionado con el medio ambiente, ya que su prioridad se enfoca en el desarrollo económico y tecnológico, a su vez la población no pone de su parte ni toma conciencia con lo referente al cambio climático. Es por esto que, las empresas que pertenecen a América latina que combaten el cambio climático son muy pocas, debido a que han intentado implementar las iniciativas, las cuales no son muy fáciles de acoger.

- Actualmente no existe un marco regulatorio en Colombia que controle o proteja el medio ambiente, o calcule las emisiones de CO₂ en la industria de las telecomunicaciones. Para el sector privado no se han establecido demandas locales las cuales apunte a las emisiones de GEI y obliguen a las grandes empresas y compañías tecnológicas que se encuentran en Colombia a realizar la reducción de la huella de Carbono. Es necesario que en Colombia se mejoren los centros de datos, suministros de energía, procesadores más eficientes, ventiladores más eficientes en los Datacenter, sistema de refrigeración optimizado en los racks y grandes Datacenters de los operadores en Colombia.
- Para los operadores, compañías multinacionales grandes, empresas de alto contenido de tecnología que se encuentra en Colombia, es necesario tener una visión Green TIC, donde se virtualicen los centros de datos en la Nube, sin temor alguno de seguridad y confidencialidad de cada uno de los datos, adicional, generando en los empleados y usuarios buenas prácticas del uso de las mismas.

6.2 RECOMENDACIONES

- El contexto económico por el que está atravesando el país influye enormemente en la posibilidad de adquirir herramientas de medición de huella de carbono a corto y mediano plazo. Lo recomendable a la hora de considerar la metodología GHG PROTOCOL, es proyectarla hacia el futuro, sabiendo que en este momento habría que hacer un estudio amplio en compañías tanto públicas como privadas, además de buscar alternativas que garanticen seguridad en la medición y estrategias que permitan cambiar de opinión en algunos sectores que no están muy de acuerdo con iniciativas de este estilo. En cualquier caso, la asignación de herramientas es clave en este proceso para garantizar la buena medición de CO₂ y poder buscar formas de aprovechar todas las capacidades que tiene a nivel técnico, económico, geopolítico y sobre todo ambiental en cualquiera de las alternativas propuestas.

Bibliografía

- [1] J. P. T. W. y J. B. Minx, «GHG Emissions in the global supply chain of food products,» de *The 2008 international input-output meeting on managing the environment*, IEEE, 2008, pp. 10-12.
- [2] C. Espíndola, «Huella de carbono, parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas,» de *Información tecnologica*, 2012, pp. 163-176.
- [3] D. A. Pandey, «Carbon footprint:current methods of estimation.,» de *Environmental monitoring and assessment*, 2010, pp. 140-146-178.
- [4] N. Nahle, «Gases de invernadero y sus repercusiones,» de *Gases de invernadero y sus repercusiones.*, Research Scientific, 2006, pp. 24-32.
- [5] GREENHOUSE GAS PROTOCOL, «About us | GHG Protocol,» [En línea]. Available: <http://ghgprotocol.org/about-us>. [Último acceso: 10 2019].
- [6] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Worl Business Council For Sustainable Development; World Resources Institute, «Protocolo de Gases Efecto Invernadero - Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte,» Ginebra, 1998.
- [7] S. Harsha, «A REPORT ON GRI GUIDELINES AND GHG PROTOCOL».
- [8] GREENHOUSE GAS PROTOCOL, «Corporate Standard | GHG Protocol,» [En línea]. Available: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>. [Último acceso: 10 2019].
- [9] GREENHOUSE GAS PROTOCOL, «Calculation Tools | GHG Protocol,» [En línea]. Available: <http://ghgprotocol.org/calculation-tools>. [Último acceso: 10 2019].
- [10] WORLD BUSINESS COUNCIL For SUSTAINABLE DEVELOPMENT, «WBCSD,» [En línea]. Available: <https://www.wbcsd.org>. [Último acceso: 10 2019].
- [11] WORLD RESOURCES INSTITUTE, «WRI | MAKING BIG IDEAS HAPPEN,» [En línea]. Available: <https://www.wri.org>. [Último acceso: 10 2019].
- [12] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), «Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina,» FRANCIA, 2004.
- [13] GREENHOUSE GAS PROTOCOL, «Country Programs | GHG Protocol,» [En línea]. Available: <http://ghgprotocol.org/country-programs>. [Último acceso: 10 2019].
- [14] «7 METODOLOGIAS PARA EL CALCULO DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO,» Bilbao, 2013.

- [15] BILAN CARBONE, «Guide méthodologique,» [En línea]. Available: <https://www.associationbilancarbhone.fr/wp-content/uploads/2018/03/bilan-carbone-v8-guide-methodologique-final.pdf>. [Último acceso: 10 2019].
- [16] BILAN CARBONE, «Guide d'application du Bilan carbone,» [En línea]. Available: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/bilan-carbone-applique-batiment-guide-methodologique-7152.pdf>. [Último acceso: 10 2019].
- [17] PAS 2050, [En línea]. Available: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2050>. [Último acceso: 10 2019].
- [18] PAS 2050 / PAS 2060, «Huella de carbono Cálculo de emisiones (PAS 2050) y Neutralidad de carbono (PAS 2060),» [En línea]. Available: <http://www.ecotech.cat/pas2050.pdf>. [Último acceso: 10 2019].
- [19] T. H. y. J. O. V. Rafael Quezada, «Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile,» 2013. [En línea]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642013000400002&script=sci_arttext. [Último acceso: Diciembre 2019].
- [20] C. E. y. J. Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas,» 2012. [En línea]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000100017&script=sci_arttext&tlng=en. [Último acceso: Diciembre 2019].
- [21] Carbone Impact, «Carbone Impact - Puedes cambiar el futuro,» 2005-2009. [En línea]. Available: <http://www.carboneimpact.com/>. [Último acceso: Diciembre 2019].
- [22] IFU Hamburg | Member of iPoint Group, «umberto,» [En línea]. Available: <https://www.ifu.com/en/umberto/>. [Último acceso: 10 2019].
- [23] gaia, «gaia Servicios Ambientales | Productos,» gaia S.A, [En línea]. Available: <https://www.gaiasa.com/productos>. [Último acceso: 10 2019].
- [24] IFU Hamburg | Member of iPoint Group, «umberto,» [En línea]. Available: <https://www.ifu.com/en/umberto/references/>. [Último acceso: 10 2019].
- [25] U. J. I. |. E. P. Soler, «CÁLCULO Y COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN ORGANIZACIONES,» España.
- [26] NTT DATA CORPORATION, «JAPAN FOR SUSTAINABILITY,» 26 02 2007. [En línea]. Available: https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id026595.html. [Último acceso: 10 2019].
- [27] D. M. Rincón, «COMPARACIÓN,» Bogotá, 2019.
- [28] C. d. Colombia, «Ley 143 de 1994,» 12 julio 1994. [En línea]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Leyes-1994-Ley143-1994>.

- [29] C. d. I. R. d. Colombia, «Ley 164 de 1994,» 27 Octubre 1994. [En línea]. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C_Users_JGomez_Documents_LEY+164+DE+1994.pdf/85833e1c-6ceb-4554-bce5-21e433329019.
- [30] M. d. ambiente, «DECRETO 948 DE 1995,» 5 junio 1995. [En línea]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf.
- [31] C. d. Colombia, «Ley 1715 del 13 de mayo de 2014,» 13 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf>.
- [32] L. S. H. Gómez, «Impacto de la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 sobre el sector eléctrico colombiano: análisis de los nuevos actores del mercado,» Manizales, 2016.
- [33] C. d. Colombia, «Acuerdos mundiales de la Cumbre Internacional de París (COP21)},» de *Cumbre Internacional de París*, París, 2015.
- [34] M. d. H. y. C. Público, «Decreto 926,» 1 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>.
- [35] M. d. A. y. D. Sostenible, «Resolucion N° 1962,» 25 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/29-res%201962%20de%202017.pdf>.
- [36] M. d. A. y. D. sostenible, «Resolución 1447,» 1 Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/98-RES%201447%20DE%202018.pdf>.
- [37] D. M. Cortés, «ABC de la Ley de Cambio Climático,» 20 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://medioambiente.uxternado.edu.co/abc-de-la-ley-de-cambio-climatico/>.
- [38] U. d. P. E.-. UPME, «Resolución 642,» 2019. [En línea]. Available: https://www1.upme.gov.co/Normatividad/642_2019.pdf.
- [39] M. d. A. y. D. Sostenible, «Decreto N° 446,» 21 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20446%20DEL%2021%20DE%20MARZO%20DE%202020.pdf>.
- [40] P. d. Kyoto, «Protocolo de Kyoto de la Convencion Marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático,» de *Convencion Marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático*, 1997.
- [41] ONU, «ONU,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.unenvironment.org/es>.
- [42] L. N. Positiva, «Reducir la huella de carbono, el propósito de 70 países que buscan mitigar el cambio climático,» 26 Septiembre 2019. [En línea]. Available:

https://lanotapositiva.com/actualidad/reducir-la-huella-de-carbono-el-proposito-de-70-paises-que-buscan-mitigar-el-cambio-climatico_23128.

- [43] C. E. y. J. O. Valderrama, «Huella de Carbono Parte 2: La Visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro,» 2011.
- [44] C. Europea, «Comision Europea, Acción climatica,» [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/index_en.htm.
- [45] EUR-LEX, «EUR-LEX,» [En línea]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008DC0397:EN:NOT>.
- [46] G. Secretariat, «COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION,» 5 12 2008. [En línea]. Available: <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/08/st16914.en08.pdf>.
- [47] «bsi.shop,» Abril 2010. [En línea]. Available: <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000030198309>.
- [48] C. Project, «CD Project,» [En línea]. Available: <https://www.cdproject.net/en-US/Pages/HomePage.aspx>.
- [49] A. d. I. e. d. I. M. d. I. Énergie, «ADEME,» [En línea]. Available: <http://www.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=23674&m=3&catid=23675>.
- [50] P. d. I. R. C. Civil, «Ley 12.187, 2009,» [En línea]. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm.
- [51] G. d. Mexico, «Medio Ambiente,» [En línea]. Available: http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=566:en-reduccion-de-emisiones-mexico-reitera-sus-compromisos&catid=95:cop-15&Itemid=168.
- [52] P. G. México, «Programa GEI México,» [En línea]. Available: <http://www.geimexico.org/acerca.html>.
- [53] M. d. Ambiente. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gov/?IdArticulo=5495>.
- [54] F. N. Colombia, «Envigado primer municipio Carbono cero,» [En línea]. Available: <http://www.natura.org.co/generales/envigado-primer-municipio-carbonocero.html>.
- [55] F. N. Colombia, «CarbonoCero,» [En línea]. Available: <http://www.natura.org.co/generales/carbonocero-certifica-el-compromiso-ambiental-de-ecopetrol.html>.
- [56] minambiente, «Ministerio de Ambiente de Colombia,» julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=7422&catID=1234>. [Último acceso: 21 agosto 2012].

- [57] Jepirachi, «cdm.unfcc.int,» 2010. [En línea]. Available: https://cdm.unfccc.int/filestorage/3/0/I/30IG5TYS2ZHOEJFXDURANMC6V19LW4/PDD_JEPIRA_CHI_second%20crediting%20period_110301.pdf?t=TW8bTh3CHrvfDBhywIKLN0qzD-1jIWTkUrp. [Último acceso: 19 agosto 2012].
- [58] comfenalco, «transcribe,» 2008. [En línea]. Available: <http://transcribe.gov.co/nueva/viewsFinal/?pag=noticia.php¶metro=Rendicion%20de%20cuentas>. [Último acceso: 21 agosto 2012].
- [59] DEL SOCORRO GARCÍA C., M, «Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y Soft Computing,» En: Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.
- [60] DIETER, G, «Engineering Design. A Materials and Processing Approach,» En: Tokyo: McGraw-Hill, 1983.
- [61] G. d. Colombia, «UNA MALA DECISION CAMBIA TUS PLANES Y ARRREGLA TU FUTURO,» Bogota.
- [62] O. León, «Tomar decisiones difíciles,» En: Segunda Edición ed Universidad, 2001.
- [63] Boer, S.J.D, «Decision Methods and Techniques in Methodical Engineering Design,» En: Ph.D. Thesis De Lie: Academisch Boeken Centrum, 1989..
- [64] Beltan, Félix Antonio Cortés Aldana Mónica García Melón Pablo A, «Selección de una Tecnología de Banda Ancha para la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, usando una Técnica de Decisión Multicriterio.,» En: Ingeniería e Investigación, Vol. 27, número 001, Universidad Nacional de Colombia, pp. 132-137, Abril de 2007.
- [65] Kaliszewski, I. , «Out of the mist: towards decision-maker-friendly multiple criteriadecision making support.,» En: European Journal of Operational Research, pp. 293-307, 2004.
- [66] Pomerol, J.C. ; S., Barba Romero, «Multicriterion decision in management: Principles and practice.,» En: Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2010.
- [67] Romero, C, «Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones.,» En: Alianza Editorial S.A. Madrid, 1993.
- [68] L. Chemane, O.P. ; Cossa, T., «MCDM Model for Selecting Internet Access Technologies - A Case Study in Mozambique,» En: Eurocon, Serbia & Montenegro, Belgrade, November 22-24, 2005.
- [69] Sasidhar, M. ; Min, K. J., «Desicion support models for the selection of Internet access technologies in rural communities,» En: Telemat. Inform., vol. 22, no. 3, pp. 201-219, 2005.
- [70] Nepal, T. , «Evaluation of rural telecommunications infrastructure in South África.,» En: Probl. Nonlin. Anal. Eng. Syst., vol. 3, no. 24, pp. 138-149, 2005.

- [71] T. N. Andrewa, P. R. ; Nepal. T, «Enhancing the selection of communication Technology for rural telecommunications: An analytic hierarchy process model.,» En: International Journal of Computers, Systems and Signals, Vol. 6, No. 2, 2005.
- [72] Gasiea, Yousef A, «An analytical decision approach to rural Telecommunications infrastructure selection. University of Manchester, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering Management of Projects, Tesis de Graos, 2010. - 344 p.».
- [73] J.M., Moreno-Jiménez: El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones En Toma de decisiones con criterios múltiples., En: Caballero R. y Fernández, G.M. Ed. ASEPUMA, Madrid, 2002.
- [74] E. H. Forman y S. I. G, «The analytical hierarchy process-an exposition.,» En: Operations Research 49 (4): pp. 469-487, 2001-07.
- [75] Bhushan, Navneet; Kanwal R., «Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process.,» En: London: Springer-Verlag. ISBN 1-8523375-6-7., 2004-01.
- [76] Saaty, Thomas L., «Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World.,» En: Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 0-9620317-8-X, 1999-05.
- [77] E., Rodriguez, «Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme.,» En: Real centro Universitario San Lorenzo del Escorial ISSN: 1133-3677, 2007.
- [78] G. A. Chica Pedraza, «Estudio y Análisis de la viabilidad de la implementación de la tecnología PLT (Power Line Telecommunications) en Colombia en el ámbito de la transmisión de datos sobre redes de baja tensión,» 2012.

ANEXOS

ANEXO A

A continuación, se muestra en la tabla A.1 el formato que los expertos utilizaron para valorar los criterios principales, como son, tecnológico, económico, geopolítico y ambiental. La idea consiste en evaluar por pares cada uno de los criterios, para determinar el vector prioridad. Para encontrar este vector prioridad, los valores de cada uno de los expertos se someten después a la ponderación de la media geométrica.

Tabla A.1. Tabla plantilla para evaluar la importancia relativa por pares

Evaluando por pares, por favor asigne un valor entre 1 y 9 utilizando como referencia la tabla inmediatamente anterior.										
PREGUNTA	VALOR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Qué valor le da de importancia al aspecto tecnológico sobre el aspecto económico										
Qué valor le da de importancia al aspecto tecnológico sobre el aspecto geopolítico										
Qué valor le da de importancia al aspecto tecnológico sobre el aspecto ambiental										
Qué valor le da de importancia al aspecto económico sobre el aspecto geopolítico										
Qué valor le da de importancia al aspecto económico sobre el aspecto ambiental										

La escala Saaty es utilizada con valores entre 1 y 9 como se muestra en la tabla A.2

Tabla A.2. Escala Saaty

Escala	Importancia	Explicación
1	Importancia Similar.	Los dos elementos dan el mismo aporte a la propiedad del criterio.
3	Moderadamente más conocida o mas relevante que el otro.	El juicio y la experiencia obtenida anteriormente, sirve para dar una mejor valoración de un criterio frente al otro
5	Frecuentemente una alternativa tiene más importancia que el otro.	El juicio y la experiencia anterior ayuda a una alternativa frente a la otra.
7	Mucho mayor una alternativa frente a las otras.	Una alternativa domina fuertemente. Posee alto nivel de dominancia.
9	Importancia extrema de una alternativa frente a la otra	Un elemento domina al dominar al otro con el mayor orden de magnitud posible.

En la tabla A.2 no se muestran los valores 2, 4, 6, 8, ya que suelen utilizarse en situaciones intermedias, y las cifras decimales que dan en las tablas realizadas son de gran precisión.

ANEXO B

A continuación, la tabla A.3 muestra la encuesta que se les realizó a los expertos para valorar cada una de las alternativas propuestas en los criterios tecnológicos, económicos, geopolíticos y ambientales. La escala Likert con valores de 1 a 9 es utilizada, siendo 1 el más bajo y 9 el valor más alto.

Tabla A.3. Encuesta a los expertos para valorar alternativas por cada uno de los criterios propuestos

De una escala de 1 a 9, siendo 1 el menor y 9 el más importante, de una valoración a cada una de las alternativas propuestas para la medición de la huella de carbono					
PREGUNTA CRITERIO TECNOLÓGICO	VALOR				
	GHG PROTOCOL	BILAN CARBONE	PAS 2050	PAS 2060	MC3
Qué importancia le da a los gases de efecto invernadero en cada una de las alternativas					
Qué importancia le da a la afinidad con el sector de las telecomunicaciones a cada una de las alternativas					
Que tanta facilidad de comprensión técnica tiene cada una de las alternativas					
Que valoración le da a cada una de las alternativas proponiendo matemáticamente un modelo de medición					
PREGUNTA CRITERIO ECONÓMICO					
Cada alternativa tiene un costo en su licencia o es gratuita					
Cada alternativa tiene una guía del usuario, y si tiene algún costo					
PREGUNTA CRITERIO GEOPOLÍTICO					
La alternativa se especifica para un país					
La alternativa se especifica para un sitio					
La alternativa se especifica para un territorio					
La alternativa se especifica para un producto					
Que tan relacionada esta la alternativa con el protocolo de Kioto					

PREGUNTA CRITERIO AMBIENTAL					
La alternativa está en función de recomendación de reducción					
La alternativa está en función de recomendación de compensación					