



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“HUELLA DE CARBONO EN EL TRANSPORTE PARA UNA
EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS
QUÍMICOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO AMBIENTAL

PRESENTA

ANA LAURA HERNÁNDEZ ZEA

DIRIGIDA POR

M. EN C. GUSTAVO PEDRAZA ABOYTES

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2012.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“HUELLA DE CARBONO EN EL TRANSPORTE PARA UNA
EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS
QUÍMICOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO AMBIENTAL

PRESENTA

ANA LAURA HERNÁNDEZ ZEA

DIRIGIDA POR

M. EN C. GUSTAVO PEDRAZA ABOYTES

SINODALES

M. en C. GUSTAVO PEDRAZA ABOYTES _____
DIRECTOR

M. en C. MARÍA EUGENIA ORTEGA MORÍN _____
SINODAL

Dra. MARICELA GONZÁLEZ LEAL _____
SINODAL

I.Q.A. RODRIGO ORTEGA GUZMÁN _____
SINODAL

Dedicatoria

Sin lugar a dudas a mi familia por apoyarme a culminar esta etapa en mi vida y en especial al apoyo de mis padres por dejarme descubrir nuevas facetas en mi vida, y creer en mí.

A todas las personas que han formado parte de mi vida, y a quienes estuvieron conmigo en cada paso, durante estos últimos 10 años.

A mis profesores que gracias a su apoyo y enseñanza, me permitieron desarrollar mis capacidades.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por darme el apoyo para la realización de mis estudios dentro y fuera de ella.

A mis amigos y colegas de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Escuela de Tecnologías de Salud de la Universidad de Costa Rica , gracias por brindarme su apoyo y amistad en mi estancia, y a mis amigos Taimi, Mila y Fabi por el apoyo que me otorgaron.

A mis viejos amigos que siempre han estado conmigo y que me han hecho reír, soñar, creer y que hasta el día de hoy su compañía es indispensable en mi vida: Josefina, Miguel, Ana Laura, Diana y a mis compañeros de área en especial a Adriana, Isela, Mariela, Paco-Bris, y a mi hermana Yureni por traer al mundo una luz más a mi vida.

A todos y cada uno de mis amigos que me permitieron formar parte de su familia y hacer que mi familia hoy sea más grande, aunque en distintos lugares del mundo hemos aprendido a construir espacios de comunicación y comprensión, gracias.

Agradecimientos

A mi tutor y amigo el profesor Isidro Reséndiz López, por su apoyo y comprensión durante estos 6 años.

A mi “colega” el Maestro Gustavo Pedraza por el apoyo para la elaboración de mi tesis.

A la Maestra Marú por su dedicación y optimismo en el área ambiental.

A la Doctora Maricela por el apoyo y enseñanza, y a Rodrigo por su orientación.

A todos mis profesores de área en especial a la Maestra Ibone, Eustolia, y a los Maestros Armando Torres

y Manuel Pérez, por el apoyo y conocimientos que me brindaron.

Gracias.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL.	i
ÍNDICE DE CUADROS.	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.	v
ÍNDICE DE ECUACIONES.	vi
RESUMEN.	
1 ANTECEDENTES.	1
1.1 Cambio climático.	1
1.1.1 Conceptos, causas y efectos.	1
1.1.2 Tipos de GEI.	4
1.1.3 Evidencias y proyecciones.	6
1.1.4 Tratados, informes y convenios.	11
1.2 Desarrollo sostenible.	14
1.3 Indicadores de sostenibilidad.	16
1.3.1 Huella ecológica.	18
1.4 Huella de carbono.	22
1.4.1 Ciclo de vida.	25
1.4.2 Carbón neutral.	26
1.5 Huella de carbono corporativa.	27
1.6 Límites organizacionales.	33
1.7 Límites operacionales.	33
1.7.1 Alcances.	34
2 HIPÓTESIS.	35
3 OBJETIVOS.	36
3.1 General.	36
3.2 Específicos.	36
4 METODOLOGÍA.	37

4.1 Materiales.	37
4.2 Métodos.	38
4.3 Diseño Experimental.	38
4.3.1 Identificación de límites organizacionales y operacionales.	40
4.3.2 Identificación de fuentes y alcances.	40
4.3.3 Inventario de emisiones	41
4.3.3.1 Transporte terrestre.	42
4.3.3.2 Transporte aéreo.	48
4.3.3.3 Transporte ferroviario.	55
4.3.3.4 Transporte marítimo.	57
4.3.4 Huella de carbono.	59
4.3.4.1 Calculadoras de huella de carbono.	60
5 RESULTADOS.	61
5.1 Inventario de emisiones.	61
5.1.1 Transporte terrestre.	61
5.1.2 Transporte aéreo.	64
5.1.3 Transporte ferroviario.	68
5.1.4 Transporte marítimo.	70
5.2 Resultados por alcance y nivel.	70
5.3 Huella de carbono	71
5.3.1 Calculadoras de huella de carbono.	72
6 DISCUSIÓN.	76
7 CONCLUSIONES.	80
8 BIBLIOGRAFÍA.	82
ANEXO	88

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Indicadores de sostenibilidad.	17
2. Definiciones de los componentes de la huella ecológica.	19
3. Métodos para la determinación de la huella de carbono.	32
4. Datos de los vehículos de transporte terrestre.	43
5. Peso específico de combustibles.	45
6. Valores calóricos netos.	45
7. Factores de emisión de transporte terrestre nivel 1.	46
8. Potenciales de calentamiento mundial de GEI.	47
9. Factores de emisión de transporte terrestre nivel 2.	48
10. Información de transporte aéreo nacional.	49
11. Información de transporte aéreo internacional.	50
12. Factores de emisión del queroseno.	51
13. Factores de emisión en LTO.	53
14. Factores de emisión en crucero.	54
15. Información de transporte ferroviario.	55
16. Factores de emisión de transporte ferroviario nivel 1.	56
17. Información de transporte marítimo.	58
18. Factores de emisión de transporte marítimo nivel 1.	58
19. Consumo de combustibles de transporte terrestre.	61
20. Emisiones de transporte terrestre nivel 1.	62
21. Emisiones en tCO ₂ -eq en transporte terrestre nivel 1.	62
22. Distancia anual recorrida de transporte terrestre.	63
23. Emisiones de transporte terrestre nivel 2.	63
24. Total de CO ₂ -eq en transporte terrestre nivel 2.	64
25. Distancia y combustible de vuelos nacionales.	65
26. Distancia y combustible de vuelos internacionales.	65
27. Consumo de combustible de transporte aéreo nivel 1.	65
28. Emisiones de transporte aéreo nivel 1.	66

29. Emisiones en ton CO ₂ -eq de transporte aéreo nivel 1.	66
30. Consumo de combustible de transporte aéreo nivel 2.	67
31. Emisiones en LTO.	67
32. Emisiones en crucero.	67
33. Emisiones en ton CO ₂ -eq de transporte aéreo nivel 2.	68
34. Distancia y consumo de combustible en transporte ferroviario.	69
35. Consumo de combustibles.	69
36. Emisiones de transporte ferroviario nivel 1.	69
37. Resultados de las diferentes calculadoras de HC.	73

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Impactos antropogénicos y respuestas al cambio climático.	3
2. Cambio de temperatura a nivel mundial y continental.	7
3. Cambios proyectados A2 para México.	9
4. Costo de la adaptación al cambio climático.	10
5. Huella ecológica por componente.	20
6. Huella ecológica por ingresos.	21
7. Huella ecológica de México.	21
8. Ciclo de vida general.	25
9. Efecto dómimo en una cadena productiva.	29
10. Alcances de emisiones a través de una cadena de valor.	34
11. Metodología para la obtención de la huella de carbono.	39
12. Alcances de los diferentes tipos de transporte.	41
13. Niveles de los diferentes tipos de transporte.	42
14. Resultados del inventario de emisiones.	70
15. Porcentaje de emisión de los diferentes tipos de transporte.	71
16. Comparaciones de transporte terrestre.	74
17. Comparaciones de transporte aéreo.	75
18. Comparaciones de transporte ferroviario.	75

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación	Página
1. Consumo de combustible en transporte terrestre nivel 1.	43
2. Cantidad de combustible de transporte terrestre nivel 1.	44
3. Combustible utilizado en transporte terrestre nivel 1.	45
4. Emisiones de transporte terrestre nivel 1.	46
5. Total de CO ₂ -eq.	47
6. Emisiones CH ₄ y N ₂ O de transporte terrestre nivel 2.	47
7. Emisiones de transporte aéreo nivel 1.	50
8. Emisiones corporativas de transporte aéreo.	52
9. Emisiones totales de transporte aéreo nivel 2.	53
10. Emisiones LTO de transporte aéreo.	53
11. Emisiones crucero de transporte aéreo.	53
12. Consumo de combustible en etapa crucero.	54
13. Consumo de combustible en etapa LTO.	54
14. Emisiones de transporte ferroviario nivel 1.	56
15. Consumo de combustible de transporte ferroviario nivel 1.	56
16. Emisiones de transporte marítimo nivel 1.	58
17. Huella de carbono en unidades de terreno forestal.	59

RESUMEN

El cambio climático es una preocupación internacional dadas las evidencias científicas, que han demostrado la influencia humana sobre el fenómeno del calentamiento global causado por las emisiones de gases que provocan e incrementan el efecto invernadero. En los últimos años se ha sobrepasado la biocapacidad de la tierra por el crecimiento demográfico, se consumen los recursos renovables más rápido de lo que se pueden regenerar y se liberan más gases de efecto invernadero de lo que los ecosistemas pueden absorber. El proceso de mitigación, adaptación e impactos producto de la relación entre el ambiente y el comercio mundial ha llevado a la realización de acciones conjuntas, buscando indicadores para cuantificar la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero. En la industria de bienes y servicios, las actividades que contribuyen en mayor medida al incremento de emisiones de estos gases son las de transporte por uso de combustibles fósiles, por lo que la elaboración de un inventario de emisiones en los diferentes tipos de transporte permite la medición de la huella de carbono, que es una herramienta contable y un indicador de desempeño ambiental reconocido internacionalmente para identificar las vías de control, impacto, mitigación y oportunidades de reducción. La elaboración del presente estudio muestra que el transporte terrestre es el que emite mayor número de emisiones por ser de alcance directo, y en las emisiones procedentes de alcances indirectos no es posible determinar el total debido a que la empresa en cuestión no tiene total control sobre ellas.

1 ANTECEDENTES.

1.1 Cambio climático.

1.1.1 Conceptos, causas y efectos.

En 1827, el matemático francés Jean Baptiste Fourier observó que ciertos gases que componían la atmósfera, en particular el CO₂ (dióxido de carbono), retenían el calor en ella. En su opinión este fenómeno era similar al que ocurría en los invernaderos, de manera que para referirse a él utilizó el término *effet de serre* (efecto invernadero). Más tarde, en 1860, el físico irlandés J. Tyndall vinculó la variación de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera a los cambios en el sistema climático. Esto marcó un importante rumbo en las investigaciones sobre el tema, que condujo a que en el año 1896 el físico sueco Svante Arrhenius, llamara la atención sobre las consecuencias climáticas de la actividad humana, demostrando mediante un cálculo sencillo que, de duplicarse la carga atmosférica de CO₂ en la tierra debido al desarrollo acelerado de la industria, se produciría un recalentamiento global del orden de los 6°C (Samaniego, 2009).

El efecto invernadero es el fenómeno por el cual la tierra mantiene su temperatura en equilibrio mediante una delicada relación entre la energía solar entrante que absorbe (radiación de onda corta), y la energía infrarroja saliente que emite (radiación de onda larga), parte de la cual escapa al espacio. Los gases de efecto invernadero (GEI) son H₂O_(g) (vapor de agua), CO₂, CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), HFCs (hidrofluorocarbonos), PFCs (perfluorocarbonos), SF₆ (hexafluoruro de azufre), O₃ (ozono), NO_x (óxidos de nitrógeno), CO (monóxido de carbono), SO₂ (dióxido de azufre), O₃ (ozono troposférico) y COVDM (compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano), los cuales dejan pasar la radiación solar a través de la atmósfera de la tierra casi sin obstáculo, pero absorben la radiación infrarroja de la superficie de la tierra e irradian parte de la misma nuevamente hacia la tierra,

aproximadamente 33°C más caliente de lo que sería sin ella, por lo tanto el efecto invernadero es un fenómeno necesario para que se mantenga la vida en la tierra.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), define el término cambio climático como un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de las actividades humanas. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMCC), que en 1992, lo definió como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Desde la revolución industrial en la cual la empresa se preocupaba por buscar incesantemente mejores formas para acelerar sus procesos productivos, era considerada como una fuente de contaminación y sobrexplotación de los valiosos y a veces agotables recursos de la tierra. La preocupación por el cuidado y protección del medio ambiente representaban un freno para el sector industrial, debido a que obstaculizaban su desarrollo, por lo cual la industria y el medio ambiente eran considerados antagónicos (Conde, 2011).

El rápido crecimiento económico generó un continuo aumento de la demanda de recursos para alimentos, energía, transporte, productos electrónicos, espacio vital y para depositar residuos, especialmente el CO₂, cuya concentración en la atmósfera, ha ido aumentando de forma significativa, como consecuencia de la combustión de derivados del petróleo y de la reducción de la masa forestal, dando lugar a un incremento del efecto invernadero, conocido como calentamiento de la tierra (Doménech, 2007; PNUD, 2007, Maldonado, 2010). En la Figura 1 se representan

esquemáticamente los originantes antropogénicos y los impactos del cambio climático, así como las respuestas a ese cambio y sus vínculos.



Figura 1. Impactos antropogénicos y respuestas al cambio climático (Bernstein y col., 2007).

El sistema económico-social es parte del ecosistema, y las reglas económicas y sociales indican que el ser humano prácticamente no puede trascender sus limitaciones físicas, biológicas y ecológicas, así como las leyes de la termodinámica y el aspecto de la co-evolución con la naturaleza. Solamente por un tiempo corto unas pocas generaciones podrían, tal vez, vivir con limitaciones, pero a la larga la entropía las alcanzaría (Rees y Wackernagel, 1996; Mateos, 2010; Peralta, 2011).

1.1.2 Tipos de GEI.

Las actividades humanas están cambiando la concentración y distribución de los GEI en la atmósfera, los cuales afectan la absorción, dispersión y emisión de radiación en la atmósfera y en la superficie de la tierra. Los cambios positivos o negativos del balance de energía por efecto de esos factores se expresan en términos de forzamiento radiativo, que es la magnitud para comparar las influencias de naturaleza térmica sobre el clima mundial. A pesar de que la mayoría de los GEI se producen de manera natural debido a los procesos geofísicos del planeta, el aumento de la concentración en la atmósfera de estos gases a partir de la revolución industrial se debe a las actividades humanas (Bernstein y col.,2007).

El aporte de cada GEI al forzamiento radiativo durante un período específico de tiempo se determina por el cambio en su concentración atmosférica durante ese período de tiempo y la efectividad del gas para modificar el equilibrio radiativo. Teniendo en cuenta estos dos conjuntos el calentamiento promedio puede producir un potencial de calentamiento global el cual se calcula matemáticamente y se expresa en unidades de CO₂ para todos los GEI, por lo tanto la unidad se convierte en CO₂-eq (dióxido de carbono equivalente). La concentración actual en la atmósfera de un GEI es el resultado neto de sus emisiones y eliminaciones sobre la atmósfera (Solomon y col., 2007; Pandey y col.,2011).

De acuerdo con su relación en la generación del forzamiento radiativo, los GEI se dividen en dos tipos:

- Directos: inducen directamente al forzamiento radiativo y el calentamiento global, los cuales son CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆.
- Indirectos: contribuyen indirectamente al forzamiento radiativo por su impacto en la química atmosférica, ya que pueden modificar la formación y/o la vida atmosférica de los GEI directos o contribuir a la formación de aerosoles. Los GEI indirectos son: NO_x, CO, SO₂, O₃ y COVDM.

Los GEI directos y considerados bajo la guía del IPCC son el CO_2 , CH_4 y N_2O , los cuales son químicamente estables y persisten en la atmósfera durante largos periodos de tiempo, estos gases se mezclan en la atmósfera, más rápido de lo que se eliminan, de modo que ejercen una influencia en el clima a largo plazo. El más importante de estos GEI es el CO_2 , la fuente de éste a nivel mundial, es el uso de combustibles fósiles, procesos de producción industrial, el cambio de uso del suelo y las actividades de silvicultura (sobre todo de la deforestación).

En cuanto a las fuentes más importantes a nivel mundial de emisiones de CH_4 se encuentran, la producción de ganado, el cultivo del arroz, la producción de combustibles fósiles y el transporte. Las emisiones de N_2O son generadas principalmente en el sector agrícola y ganadero, donde éstas proceden de la aplicación de fertilizante, la quema de biomasa, el manejo de estiércol animal y los procesos de volatilización, lixiviación y drenaje del nitrógeno en el suelo.

Los halocarbonos (HFCs , PFCs y SF_6) aportan sólo una parte pequeña de las emisiones globales de GEI a pesar de su alto valor de forzamiento radiativo. Las emisiones de estos gases provienen principalmente de la transmisión y distribución eléctricas, y de la producción industrial de aluminio, producción y procesamiento de magnesio y la manufactura de semiconductores (Bernstein y col.,2007).

Los GEI indirectos son químicamente reactivos y se eliminan por lo general mediante procesos naturales de oxidación en la atmósfera, depositándolos en la superficie o gracias a las precipitaciones, por eso sus concentraciones son muy variables. Las emisiones del CO , NO_x , COVDM modifican el tiempo de vida del CH_4 y son las causas principales del smog, de la lluvia ácida y de la niebla regional. El O_3 se forma y destruye por reacciones químicas que implican a otras especies en la atmósfera.

1.1.3 Evidencias y proyecciones.

La información de los cambios y fuentes espaciales y temporales del clima han aumentado gracias a una mayor cobertura geográfica, a un conocimiento más detallado de las incertidumbres y a una mayor diversidad, mejora y ampliación de numerosos métodos de análisis que se desarrollan a través de sistemas de alta resolución para cuantificar las concentraciones de GEI y los flujos de componentes de la atmósfera, lo que ha permitido dar a conocer en la actualidad las consecuencias del aumento de la población y los fenómenos meteorológicos extremos (Solomon y col., 2007; Galindo, 2009; Mays y col., 2009).

El cambio climático es un fenómeno que está teniendo lugar en la actualidad y representa una de las amenazas ambientales, sociales y económicas más importantes que afectan al planeta. La temperatura media de la tierra ha aumentado 0.76° C desde 1850 y la mayor parte del calentamiento que ha tenido lugar en los últimos 50 años ha sido muy probablemente debido a actividades humanas, entre las que destacan la utilización de combustibles fósiles, la agricultura, los cambios de ocupación del suelo y la deforestación. De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial desde 1850 (Bernstein y col., 2007; OSE, 2010).

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y el nivel del mar. En la Figura 2 se muestran los cambios observados de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparados con los resultados simulados mediante modelos del clima que contemplan forzamientos naturales o forzamientos naturales y antropogénicos.

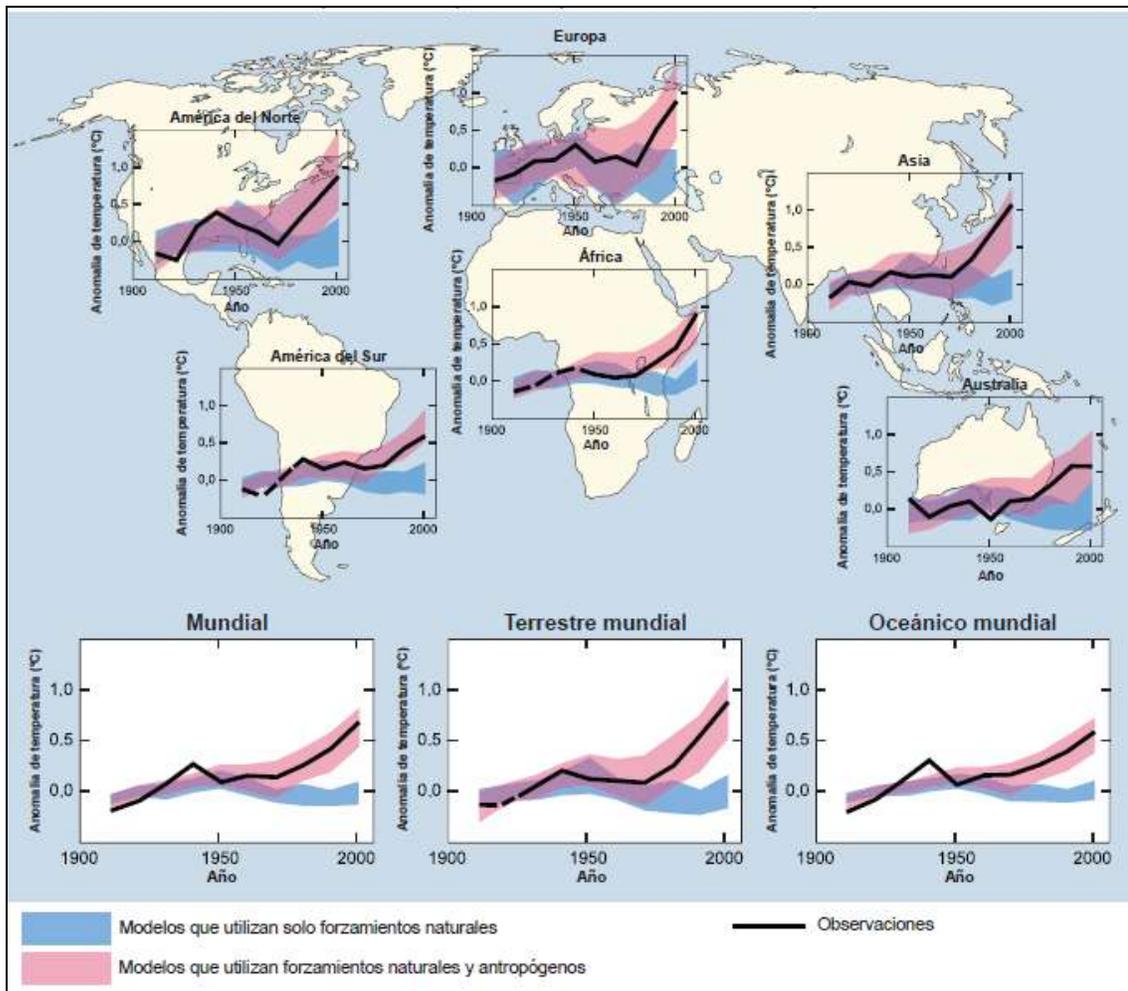


Figura 2. Cambio de temperatura a nivel mundial y continental (Solomon y col., 2007).

En el Informe Especial sobre los Escenarios de Emisiones (IEEE) del Tercer Informe de Evaluación del IPCC, se agrupan cuatro familias (A1, A2, B1 B2) que exploran vías de desarrollo alternativas incorporando toda una serie de fuerzas originantes demográficas, económicas y tecnológicas, junto con las emisiones de GEI resultantes. Las proyecciones de emisión son utilizadas para conjeturar el cambio climático futuro, y son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y evaluaciones de impacto, a continuación se describen los seis escenarios testimoniales:

- A1 supone un rápido crecimiento demográfico y económico, unido a la introducción de tecnologías nuevas y más eficientes.

- A1F1 considera la utilización intensiva de combustibles fósiles;
- A1T predomina la energía de origen no fósil.
- A1B hay una utilización equilibrada de todo tipo de fuentes
- A2 supone un menor dinamismo económico, menos globalización y un crecimiento demográfico alto y sostenido.
- B1 con una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y desciende posteriormente con rápidos cambios en las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias, con un aprovechamiento eficaz de los recursos.
- B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se centra principalmente en los niveles local y regional.

Los escenarios IEEE no contemplan otras políticas climáticas además de las existentes y no se han asignado niveles de probabilidad a ninguno de los escenarios. Las proyecciones de emisiones de GEI de estos escenarios son muy utilizadas para estimar el cambio climático futuro, y sus supuestos básicos respecto de la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y evaluaciones de impacto (Bernstein y col., 2007).

En la Figura 3 se muestra la proyección de cambios proyectados para el escenario A2 para México en temperatura media anual y precipitación. El cambio en temperatura media se proyecta entre 2.5 y 4.0°C, con un rango de variación de 1.0 a 2.5°C, dependiendo de la región, siendo el noroeste de México donde se esperan los mayores aumentos. La precipitación promedio anual podría disminuir en promedio para todo el país en orden de 11% con un rango de variación espacial en el ensamble de entre -5.7 a -17.8%. El escenario se construyó con base en información del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM) utilizando Modelos de Circulación General (MCGs), con técnicas que permiten aumentar la resolución espacial de las proyecciones hacia finales del presente siglo.

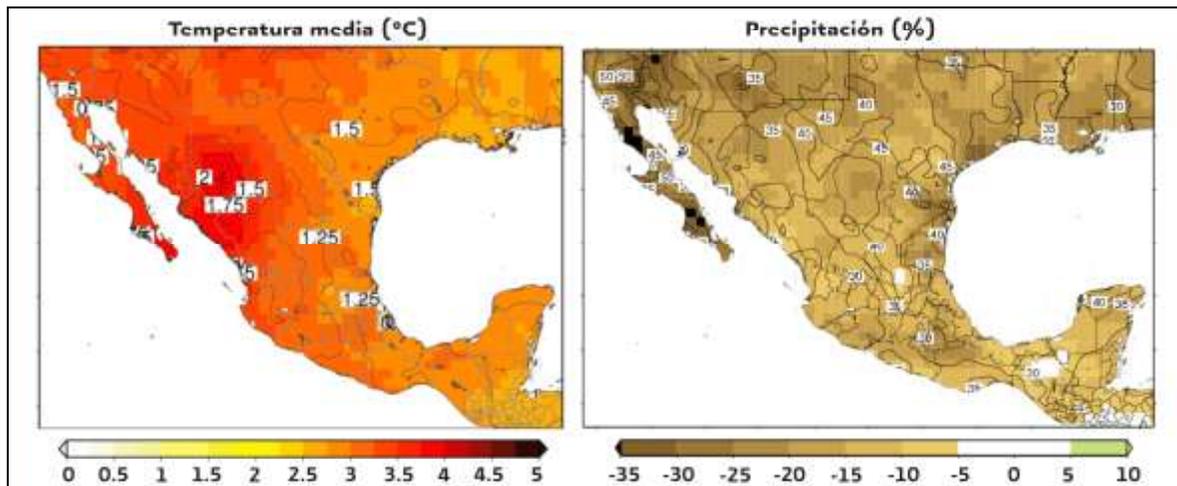


Figura 3. Cambios proyectados A2 para México (Galindo, 2009).

En América Latina y el Caribe, la información sobre los cambios climáticos en series prolongadas de tiempo es limitada, según el IPCC debido a que sus características geográficas y topográficas, son marcadamente vulnerables al cambio climático, suponen aumentos de temperatura y eventos meteorológicos extremos, disminuciones de la humedad del suelo y podrían experimentarse pérdidas de diversidad biológica. En lo que a la productividad respecta, algunos cultivos importantes disminuirían, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria, en materia de salud, los cambios del clima contribuyen a aumentar la posibilidad de que ocurran plagas, enfermedades y pérdidas de vidas humanas. Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares influirían notablemente en la disponibilidad de agua para el consumo humano, agrícola e hidroeléctrico. (Samaniego, 2009; Martínez e Idígoras, 2011).

Según el Informe del IPCC 2007, los efectos directos del cambio climático en el sector industrial se verán principalmente a nivel de costo de la energía,

construcción e integridad de la infraestructura (carreteras, puertos y otros) que implicarían que el sector de la construcción tendría que someterse a las nuevas regulaciones y estándares vinculados al clima, además de los posibles cambios en el comportamiento y las preferencias de los consumidores.

En México se realizó un estudio orientado a evaluar la vulnerabilidad de las zonas industriales en el cual se concluyó que la rama más vulnerable sería la industria pesada, incluida la generación de energía eléctrica y el sector petrolero, dado que sus diversos procesos industriales y su ubicación geográfica son sensibles a las variaciones climáticas (Sánchez, 2004).

Cuando ocurre algún fenómeno meteorológico extremo se gasta un monto considerable de recursos del erario público en tareas de reparación, por lo que la distribución de los costos entre actores públicos y privados es uno de los elementos centrales en el diseño de instrumentos de adaptación (Samaniego, 2009). En la Figura 4 se muestra cómo la inversión en medidas de adaptación permitirá a los países disminuir el costo de las futuras repercusiones.

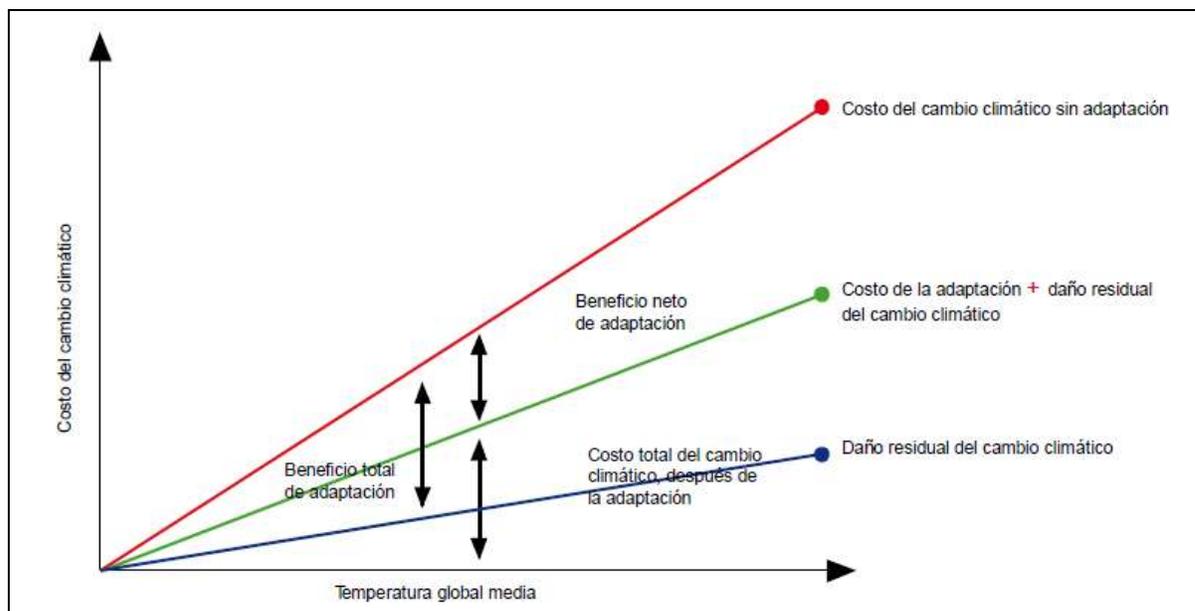


Figura 4. Costo de la adaptación al cambio climático (Samaniego, 2009).

1.1.4 Tratados, informes y convenios.

El cambio climático antropogénico, se ha convertido en una seria causa de preocupación para las políticas públicas, ya que las posibles repercusiones, impactos e incertidumbres asociados al aumento de la concentración de emisiones de GEI en la atmósfera; conllevan a serios riesgos para la viabilidad del progreso económico, del bienestar y de la salud, aunque su impacto será más intenso en las regiones pobres y en las futuras generaciones de la mayoría de los países (Sabogal y col., 2009; Galindo, 2009; Carballo y Castromán, 2011).

Al inicio de los años setenta, los científicos y el Club de Roma, mediante el informe “Los límites del crecimiento” plantearon la necesidad de un cambio en el modelo de crecimiento mundial como consecuencia de los límites impuestos por la disponibilidad de recursos y la creciente amenaza mundial del calentamiento de la tierra (Herva y col., 2008).

En 1979 se realizó la primera Conferencia Mundial sobre el clima en Ginebra, como un llamado urgente a la comunidad internacional sobre la necesidad de adoptar drásticas medidas correctivas ante los hechos siguientes:

- i) La temperatura media del planeta ha venido aumentando aceleradamente.
- ii) La información disponible indica que el aumento de temperatura obedece a las actividades humanas que liberan en la atmósfera GEI, principalmente CO₂, CH₄ y N₂O.
- iii) De acuerdo con los modelos utilizados para explicar este incremento de la temperatura, es posible que también se produzcan alteraciones del sistema climático en un lapso no superior a 100 años.

Fue hasta 1987, en la Comisión Brundtland, con el “Informe Brundtland” o “Nuestro Futuro Común” de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), cuando el cambio climático entró en la agenda política, llegándose a recomendar en la Conferencia Mundial sobre Atmósfera Cambiante celebrada en

Toronto, en 1988, la reducción del 20% de las emisiones de CO₂, para el año 2005 respecto a las de aquel año (Doménech, 2007).

El IPCC fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). La función de este organismo, abierto a todos los estados miembros de las Naciones Unidas y de la OMM, consiste en analizar en forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos de riesgo que supone el cambio climático, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación al mismo.

Las evaluaciones del IPCC se basan principalmente en los estudios científicos y técnicos publicados y sometidos a un sistema de revisión por pares. Todo ello con objeto de exponer de manera fidedigna y a nivel internacional los conocimientos científicos sobre el cambio climático y evaluar periódicamente sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta que constituyen los informes más completos y actualizados. Son la referencia más habitual para todos los interesados por el cambio climático en el ámbito académico, gubernamental e industrial en todo el mundo. Desde su establecimiento el IPCC ha elaborado una serie de informes de evaluación (1990, 1995, 2001, 2007), informes especiales, documentos técnicos, guías, metodologías y otros productos que se han convertido en obras de referencia estándar, ampliamente utilizadas por los responsables de políticas, científicos y otros expertos.

La primera respuesta sobre el cambio climático a nivel mundial se dio en 1992, durante la Conferencia de la Naciones Unidas, en la “Declaración de Río sobre Medio ambiente y Desarrollo”, conformada por 27 principios del medio ambiente y la definición de los roles de la administración, la empresa y la sociedad. Y se adoptó el término desarrollo sostenible, como un proceso de cambio que armoniza la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del

desarrollo tecnológico y el cambio institucional, que aumenta las posibilidades actuales y futuras de satisfacer las necesidades y aspiraciones de los seres humanos: el concepto integra dimensiones políticas, sociales, económicas y medioambientales. La declaración está conformada por 27 principios del medio ambiente y la definición de los roles de la administración, la empresa y la sociedad. Dentro de estos principios, se han destacado tres principios (8,10 y 16) que apuntan a la participación ciudadana en el consumo sostenible, para lo cual empresas y administración deben transmitir los conceptos en pro del desarrollo sostenible También se reconoció la importancia de los GEI en el Cambio Climático y se comenzaron a tomar una serie de medidas con el objetivo de mantener y mejorar los niveles de emisiones respecto a los niveles establecidos de 1990. (Doménech, 2007).

A partir de 1995 y con una frecuencia anual se establecieron las reuniones de expertos contra el cambio climático de todos aquellos países que habían firmado los acuerdos internacionales sobre cambio climático, estas reuniones son conocidas como COP (Conferencia de las Partes).

En la tercera COP, celebrada en Kioto en diciembre de 1997, a raíz del segundo Informe del IPCC de 1996, en el que se demostró la evidencia de la influencia humana sobre el clima, se elaboró el Protocolo de Kioto que se centra en los compromisos de reducción de emisiones producidas por cada país, no considera el carbono incorporado en los bienes importados, contempla mecanismos flexibles orientados a la reducción y mitigación de emisiones. Es la primera acción bajo un marco institucional de un compromiso voluntario, en el cual los países firmantes del protocolo se comprometen a reducir de forma global sus emisiones totales de GEI, expresadas en CO₂ equivalentes, a un nivel inferior en no menos al 5% de 1990 en el periodo de compromiso 2008 – 2012. Esta medida, a la vista de la comunidad internacional, ha sido considerada como insuficiente (Doménech, 2007; Guerra, 2007; Scotti, 2011).

1.2 Desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible tiene sus inicios en la publicación del Informe Brundtland, donde se define como “aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, alerta sobre las consecuencias de nuestro sistema social y la sostenibilidad de los servicios que brinda la naturaleza (Guerra, 2007; Pacheco, 2011).

El desarrollo sostenible se refiere a la capacidad de explotar recursos naturales sin poner en peligro su regeneración y el equilibrio entre las dimensiones económica, ambiental y social, que se ven afectados por las tendencias de mercado y el modelo dominante que se basa en el aumento de los bienes materiales, la productividad y el crecimiento económico que pueden poner en peligro el entorno (Martínez e Idígoras, 2011; Pacheco, 2011).

Los principios básicos que rigen el concepto de desarrollo sostenible son los siguientes:

- Principio de sustentabilidad: el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin poner en riesgo las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras.
- Principio de equidad: cada persona tiene derecho aunque no la obligación, a hacer uso de la misma cantidad de espacio ambiental (energía, materias primas no renovables, terreno agrícola, bosques, capacidad de absorción de CO₂, etc.).
- Principio de precaución: establece la conveniencia de tomar medidas antes de tener la seguridad de que se van a producir determinados efectos, debido a la gravedad y alta probabilidad de éstos.
- Principio de responsabilidad diferenciada: las obligaciones que un país debe asumir se establecerán de acuerdo con su responsabilidad en el problema y su grado de desarrollo.

- Principio de “quien contamina, paga”: los causantes de los daños o de un atentado al medio ambiente deben responder económicamente a las medidas para su corrección.

Uno de los más grandes desafíos del desarrollo sostenible es lograr que los modelos de desarrollo que no tuvieron en cuenta las restricciones en lo concerniente al ámbito natural, evolucionen de ser una amenaza para el medio ambiente, a ser una oportunidad para lograr un desarrollo ambientalmente sostenible, el cual depende del grado en que se logren patrones de producción y consumo de energía eficientes económicamente, pero compatibles con el medio ambiente. Como agentes clave de la sociedad, las empresas de todo tipo, tienen un importante papel no sólo para incorporar los criterios de sostenibilidad, sino en comenzar a dar la transición hacia una nueva racionalidad que oriente la construcción de la sostenibilidad (Fernández, 2010).

El cambio climático y las medidas de adaptación tienen expresiones geográficas concretas, al igual que la reubicación de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

La adaptación también conlleva algunas oportunidades para seguir un desarrollo más sostenible, como mejor infraestructura, investigación y desarrollo de variedades de cultivos, el desarrollo del pago por servicios ambientales y el mejor manejo de cuencas hidrológicas, entre otros. La mayoría de las medidas de adaptación son parte de los instrumentos de desarrollo. Se recomienda reforzar la creación de bienes públicos como el monitoreo, la generación de información pertinente para los sistemas de alerta temprana y el fortalecimiento de los instrumentos para el buen uso del territorio (Samaniego, 2009; Fonseca y Carabias, 2009; Nellemann y Corcoran, 2010).

1.3 Indicadores de sostenibilidad.

Las posibilidades de un desarrollo sostenible parten de la necesidad de establecer mejores herramientas y métodos que permitan evaluar de forma objetiva el estado real de las reservas del capital natural, su tasa de explotación y el impacto medioambiental de los procesos productivos y los productos. La Agenda 21, uno de los documentos surgidos de la Cumbre de Río señala que es preciso elaborar indicadores de desarrollo sostenible que sirvan de base sólida para adoptar decisiones en todos los niveles y que contribuyan a una sostenibilidad autorregulada de los sistemas integrados del medio ambiente y desarrollo.

Para alcanzar un modelo de desarrollo sostenible, se requiere disponer de indicadores ambientales fiables, comprensibles y metodológicamente correctos que permitan monitorear cambios en estructura y función, y establecer de manera objetiva el impacto que se está produciendo sobre el medio. Esto ha propiciado la aparición de nuevas metodologías para cuantificar la sobreexplotación de los recursos naturales y la destrucción del medio ocasionados por la actividad humana, en general, y por los procesos productivos, en particular (Doménech, 2006; Guerra, 2007).

Durante la década de los 90 se despertó un particular interés por dotar de una dimensión territorial y espacial al continuo traslado de recursos naturales. Dentro de este contexto surgen los conceptos de huella ecológica o deterioro ecológico (ecological footprint), y espacio ambiental (environmental space).

El concepto de huella ecológica (HE) fue enseñado a estudiantes de planificación por el profesor William Rees, el objetivo consistía en disponer de una herramienta que relacionase el constante crecimiento de la población humana y del consumo con el hecho de que la superficie productiva y el capital natural permanecen constantes o bien están en declive. En sus inicios el concepto estaba enfocado hacia la estimación del nivel de sostenibilidad del desarrollo urbano, de estilos de

vida, de regiones, etc. La HE es directamente proporcional al nivel de población, de consumo de recursos y, por tanto, a la escala de la economía o sociedad objeto de estudio. Sin embargo, el concepto no era del todo novedoso, si se tiene en cuenta que existía algún antecedente al término. Así, Borgstrom había definido el territorio fantasma (ghost area) como la ilimitada área externa de un país necesaria para mantener a la población dentro de los límites de su territorio.

De forma casi paralela a la HE, otro concepto se estaba desarrollando en Europa, el espacio ambiental (EA), el cual se produjo como un concepto académico en los años 80, pero alcanzó mayor popularidad al ser retomado en los 90 por ONGs medioambientales.

Otro ejemplo de indicador es la mochila ecológica (Ecological Rucksack), término concebido por F. Schmidt-Bleek en 1993 en el Instituto Wuppertal (Alemania). Este concepto aboga por la innovación económica, social y técnica de forma que se satisfagan las necesidades de la población usando menor cantidad de recursos naturales, al tiempo que se genera, o incluso se mejora, el valor o utilidad de los bienes producidos (Herva y col., 2008). El Cuadro 1 muestra los indicadores de sostenibilidad que surgieron durante los últimos años.

Cuadro 1. Indicadores de sostenibilidad.

Indicadores de sostenibilidad surgidos en los últimos años			
Indicador	Fecha	Autor/es	Origen
Territorio fantasma	1965	G. Brodstrom	EE.UU.
Espacio ambiental	Década 80	J.B. Opschoor	Holanda
Mochila ecológica	1993	F. Schmidt-Bleek	Alemania
Huella Ecológica	1996	W. Rees y M. Wackernegel	Canadá
Huella hídrica	2002	Hoeskstra	Holanda

1.3.1 Huella ecológica.

En el año 1996 apareció la HE como uno de los indicadores más prometedores para medir el impacto ambiental de un determinado territorio, desarrollado por William Rees y Mathis Wackernagel, hoy en día es utilizada ampliamente por investigadores, empresarios, gobiernos, agencias, individuos e instituciones para monitorear el uso de los recursos y el avance del desarrollo (Herva y col., 2008).

La HE se define como el área de territorio productivo o ecosistema acuático necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos, es decir mide el área de tierra biológicamente productiva y el agua necesaria para proporcionar los recursos renovables que la gente utiliza, e incluye el espacio necesario para infraestructuras y la vegetación para absorber el CO₂ (Planeta Vivo, 2010).

La HE es un indicador de sostenibilidad que representa la demanda de recursos expresado en unidades denominadas hectáreas globales (hag), siendo 1 hag la capacidad productiva de 1 hectárea de tierra de producción media mundial, este indicador es un simple número de muy fácil comprensión y de gran significado y cada vez más utilizado para calcular el impacto ambiental de poblaciones (Monfreda y col., 2004; Wiedmann y Lenzen, 2006; Tortajada, 2007; Carballo y Villasante, 2008).

La HE sirve como soporte para comprender las relaciones entre el metabolismo socioeconómico y los usos del suelo como la colonización de los ecosistemas con el propósito de transformarlos en espacios más útiles para la sociedad, y debe tenerse siempre en cuenta que esta colonización debe estar basada en criterios de sostenibilidad (Herva y col., 2008). La HE se compone de seis huellas las cuales se describen en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Definiciones de los componentes de la huella ecológica.

Definiciones de los componentes de la huella ecológica	
Huella de la absorción de carbono	Calculada como la cantidad de terreno forestal requerido para absorber las emisiones de CO ₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles, cambios en los usos del suelo y procesos químicos, excepto la porción absorbida por los océanos, Estas emisiones son el único producto residual incluido en la huella ecológica.
Huella de las tierras de pastoreo	Calculada a partir del área que utiliza el ganado para carne, lácteos, piel y lana.
Huella forestal	Calculada a partir de la cantidad de madera, leña y pulpa que consume anualmente cada país.
Huella de las zonas pesqueras	Calculada a partir de la producción primaria estimada requerida para sostener las capturas de pescado y marisco, basada en los datos de captura de 1,439 especies marinas diferentes y más de 268 especies de agua dulce.
Huella de los cultivos	Calculada a partir del área utilizada para producir alimentos y fibra para consumo humano, alimento para ganado, cultivos oleaginosos y caucho.
Huella de la tierra urbanizada	Calculada a partir del área de tierra ocupada por infraestructuras humanas, incluyendo el transporte, viviendas, estructuras industriales y presas para energía hidroeléctrica.

El componente más importante que ha aumentado y actualmente representa más de la mitad de la HE global, es la huella de carbono (HC), por el contrario las contribuciones relativas de las huellas de tierras agrícolas, de pastoreo y forestales ha disminuido en general en todas las regiones. Estos cambios se deben al consumo de recursos ecológicos por la energía basada en combustibles fósiles. En la Figura 5 se muestra la huella ecológica por componente de 1961 al 2007.

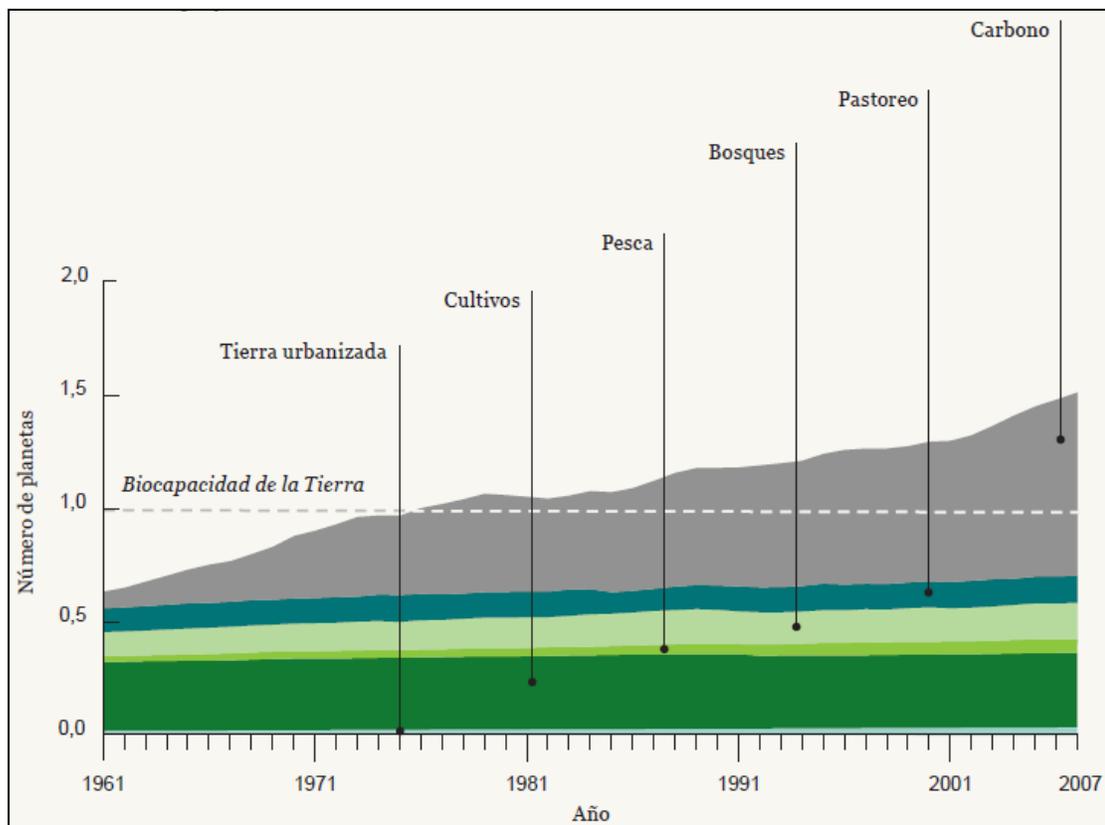


Figura 5. Huella ecológica por componente (Planeta Vivo, 2010).

Para determinar si la demanda humana de recursos renovables y la absorción de CO₂ se pueden mantener, la HE es comparada con la capacidad regenerativa total disponible para cubrir la demanda del planeta o biocapacidad. La demanda humana se ha duplicado durante los últimos 45 años como resultado del crecimiento de la población y del consumo individual. Las actividades humanas excedieron la biocapacidad de la tierra por primera vez a mediados de los años setenta, manteniéndose desde entonces la tendencia en aumento, como se muestra en la Figura 5 (Wackernagel, 2002).

Examinando la HE a escala individual entre 1970 y 2007, se observa que ésta depende del país donde se viva. La HE por persona de los países de ingresos bajos ha disminuido, mientras que la de los países de ingresos medios ha aumentado ligeramente y la de los países de ingresos altos ha aumentado drásticamente, como se muestra en la Figura 6.

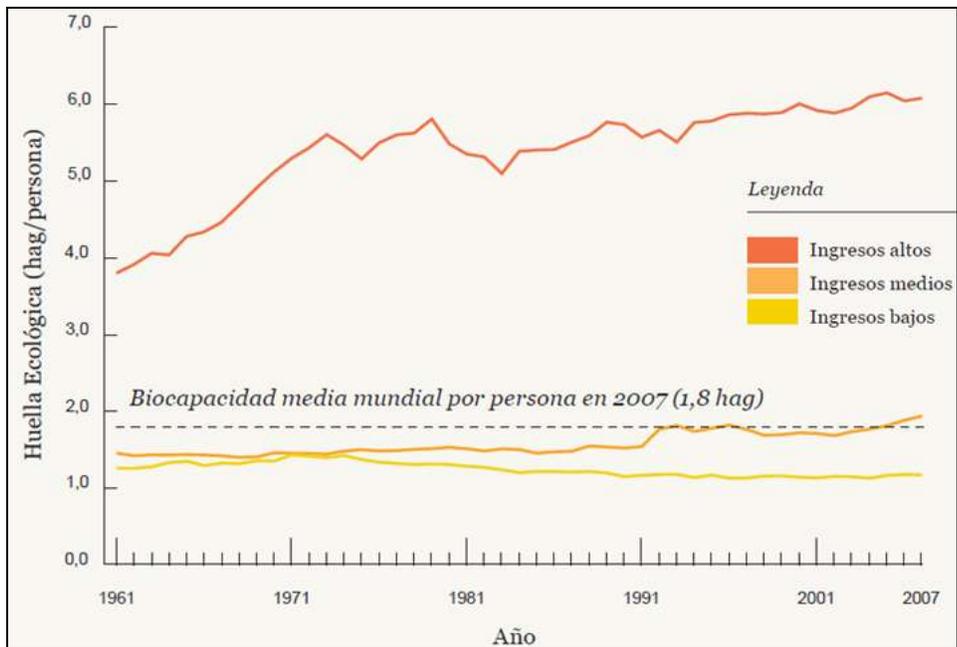


Figura 6. Huella ecológica por ingresos (Planeta Vivo, 2010).

Para México la Asociación Global Footprint publicó las estimaciones correspondientes al periodo 1961-2007. De acuerdo a lo que se aprecia en la Figura 7 el país ha perdido de manera importante su biocapacidad al pasar de 4 hag/p (por persona) en 1961 a poco más de 1.5 hag/p al 2007. A fines de la década de los 70, se pierde el equilibrio entre biocapacidad y HE, de 2 hag/p en 1961 a 3 hag/p en 1997, manteniendo una constante tendencia de crecimiento.

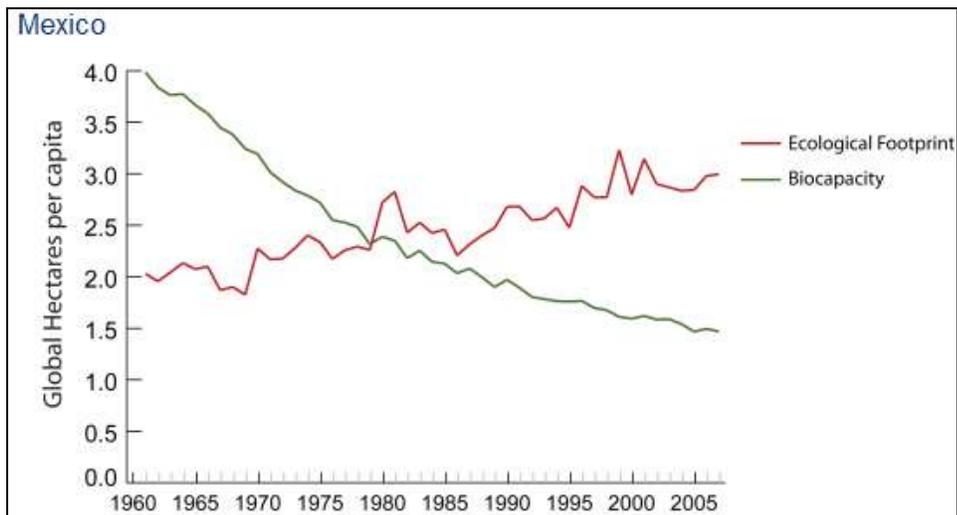


Figura 7. Huella ecológica de México (Global Footprint, 2010).

1.4 Huella de carbono.

La huella de carbono es un concepto más reciente y, al mismo tiempo, mucho menos definido que la HE que tiene unos creadores conocidos, que delimitan el concepto y el método de cálculo a emplear.

La huella de carbono no ha sido impulsada por la investigación sino que más bien ha sido promovida por las organizaciones no gubernamentales (ONG), empresas, y la iniciativa privada, lo que posibilita que surjan diferentes interpretaciones del indicador (Carballo y col., 2009; Schmidt, 2011). A modo de ejemplo, desde Global Footprint Network se define la huella de carbono "como la demanda de biocapacidad necesaria para secuestrar, mediante fotosíntesis las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles". La definición de Carbon Trust es mucho más amplia, al incluir "las emisiones totales de GEI en toneladas equivalentes de un producto a lo largo de su ciclo de vida desde la producción de las materias primas empleadas en su producción, hasta la eliminación del producto acabado" (Carbon Trust, 2006; Carballo y Castromán, 2011; Churkina, 2012). Algunas de las principales diferencias que existen entre ellos se relacionan:

- Con los gases cuyas emisiones incluye el indicador.
- Con la consideración de emisiones directas o indirectas.

La huella de carbono es la medida del impacto de todos los GEI producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de CO₂-eq, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte entre otros procesos. Proporciona a clientes y otros agentes amplia información relacionada con el ciclo de vida de bienes y servicios, y como fuente de información interna, con la finalidad de identificar puntos clave en la cadena de suministradores, riesgos potenciales y oportunidades de mejora.

La huella de carbono individual se conforma por la suma de dos partes, la huella primaria y la secundaria. La primaria es la medida de las emisiones directas de CO₂, a partir de la quema de combustibles fósiles, incluyendo el consumo doméstico de energía y transporte (auto, avión, tren), sobre los cuales existe un control directo. La secundaria es la medida de las emisiones indirectas de CO₂ de todo el ciclo de vida de los productos de consumo, asociados con la manufactura y eventual descarte (Schneider y Samaniego, 2010).

El cálculo de la huella de carbono está basado en los principios de la contabilidad financiera, para asegurar que la información ofrecida sea verdadera, creíble y represente una fiel imagen de las emisiones de GEI de la empresa. A continuación se describen los principios financieros:

- **Relevancia:** garantiza que la huella de carbono refleje de manera apropiada las emisiones de una empresa y que sea un elemento objetivo para la toma de decisiones. Se cumple si en el cálculo se incluye la información que es determinante para obtener un dato que es fiel imagen de las emisiones de GEI de la empresa.
- **Integridad:** busca que todas las fuentes de emisión relevantes y todas las emisiones estén dentro de los límites del inventario y estén contabilizadas.
- **Consistencia:** se deben usar metodologías que permitan realizar comparaciones de las emisiones a lo largo del tiempo, para detectar cambios en el límite del inventario, los métodos de cálculo deben ser documentados para asegurar la consistencia y la comparabilidad.
- **Transparencia:** se cumple solo si la información es presentada y publicada de forma clara, efectiva, neutral y comprensible y basada en documentación sólida, transparente y auditable, este principio garantiza que se atiendan todas las cuestiones significativas o relevantes de manera objetiva, coherente y que se expliquen las metodologías de cálculo utilizadas, así como las fuentes de información.

- Precisión: asegura que la cuantificación de las emisiones de GEI no observe desviaciones con respecto a las emisiones reales, hasta donde pueda ser evaluado, y de tal manera que la incertidumbre sea reducida en lo posible, en el caso de no poder disponer de datos reales y se recurra a la realización de estimaciones, éstas deben ser razonables, justificadas y estar documentadas. Es necesario adquirir una precisión suficiente que permita a los usuarios tomar decisiones con una confianza razonable con respecto a la integridad de la información reportada.

La huella de carbono se está convirtiendo en el principal indicador estratégico de todos los países y, especialmente, en el mundo empresarial. Es indudable que las ventajas incorporadas por la huella de carbono constituyen un valioso aporte para la gestión ambiental de las diferentes naciones y mercados del mundo, no sólo al proporcionar una metodología útil para la medición de emisiones de GEI y la incorporación a la discusión pública de la trazabilidad del carbono en los productos, sino que además, por la introducción de diferenciadores ecológicos dentro de una misma línea de bienes de consumo. Sin embargo, esta herramienta posee un número importante de complejidades, sobre todo aquellas relacionadas a las diferencias metodológicas de su cálculo (Bórquez, 2010; Doménech y col., 2010).

Los principales mecanismos para etiquetar el impacto ambiental de los productos son la huella de carbono y el análisis del ciclo de vida. Ambas metodologías evalúan el daño ambiental de las diferentes etapas en la elaboración y distribución de los productos, es decir, desde los recursos naturales necesarios como insumos hasta las emisiones asociadas al transporte de los productos a su destino final (González, 2009).

1.4.1 Ciclo de vida.

El análisis del ciclo de vida (ACV) es un indicador de ahorros potenciales y un instrumento para investigar el comportamiento ambiental de un producto o servicio.

El análisis de la huella de carbono se puede considerar como una parte del ACV que ofrece información más detallada sobre las transferencias reales de impactos ambientales en la selección de productos. Sin embargo, la inherente complejidad del ACV a menudo es un impedimento para su aplicación generalizada en la industria y en el ámbito político (Espí y Sanz, 2009; Benveniste y col., 2010).

Para reducir los impactos al medio ambiente de los productos y servicios que se comercializan, se ha fomentado el enfoque del ACV, el cual debe ser compartido por todos los actores involucrados para la existencia de una oferta y demanda de productos que causen menor daño al medio ambiente (Pacheco, 2011).

El ciclo de vida económico está determinado por los cambios tecnológicos y cambios de mercado que afectan a la obsolescencia del producto. El ciclo de vida físico está determinado por la duración de la utilidad de una unidad típica de un producto y está constituido por seis fases: desarrollo del diseño, selección de materiales, fabricación, distribución, uso y, por último, reunión como residuo al final de su vida útil (Carballo y Castromán, 2011; Pacheco, 2011). La Figura 8 muestra un ciclo de vida general.

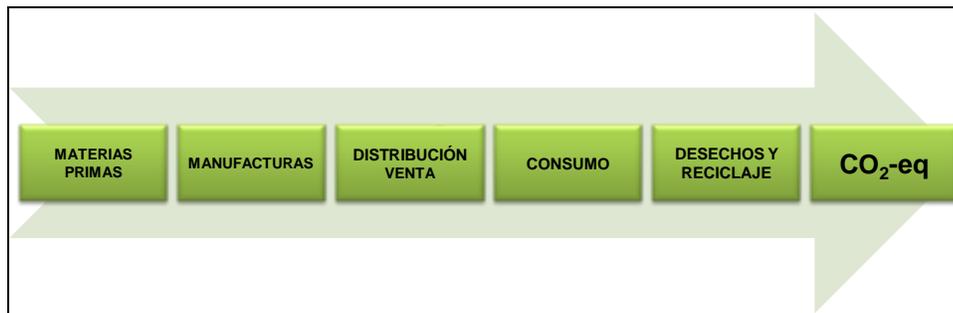


Figura 8. Ciclo de vida general.

1.4.2 Carbón neutral.

El carbón neutral busca que las emisiones, reducciones y compensaciones de GEI se encuentren en niveles menores o iguales a cero, por lo que recomienda utilizar estándares voluntarios e inventarios internacionales sobre la emisión de GEI (Alvarez, 2009).

La adquisición de bienes y servicios con huella de carbono reducida o neutralizada, es un valor agregado de la empresa para fortalecer su imagen y posicionamiento en un sin número de mercados privilegiados. En este contexto del futuro cercano, el ser carbono neutral (CN), se convierte en una tendencia mundial a ser adoptado por las empresas privadas, actividades e instituciones públicas para lograr la sostenibilidad (Fernández, 2010; Maldonado, 2010).

Dentro de las actividades para lograr el objetivo ser carbono neutral es necesario empezar por calcular la huella de carbono o línea base, para así determinar el tiempo necesario que llevará lograr reducir, e incluso neutralizar la huella de carbono e invertir en proyectos que reduzcan emisiones de GEI como la compra de bonos de carbono que correspondan a la absorción de emisiones que se quieran compensar. El sistema de compensaciones se basa en la idea de que los agentes prefieren pagar a alguien para que reduzca la concentración de GEI en la atmósfera antes que reducir ellos mismos sus propias emisiones. Lógicamente esto sucede cuando lo que pagan es inferior a lo que a ellos les costaría hacer dicha reducción (Fernández, 2010; Mateos, 2010).

La economía de bajo contenido de carbono ha surgido como parte de una estrategia económica para el cambio climático, el uso estratégico de este concepto en la industria ha creado políticas para modificar las expectativas del futuro y las soluciones tecnológicas al igual que el desarrollo de una economía basada en la reducción de emisiones de carbono industrial dependiendo del espacio utilizado (Rongquin y col., 2011; Nerlich, 2012).

1.5 Huella de carbono corporativa.

El tema del cambio climático ha trascendido el mundo de los científicos, para llegar al mundo político, económico, social y empresarial. La sociedad actual, exige un urgente cambio radical en nuestro modelo de desarrollo. Un cambio que afectará la economía del sistema financiero internacional, por lo que las empresas deberán fortalecer sus bases de responsabilidad, eco-eficiencia y confianza, buscando mecanismos de desarrollo limpio (MDL), de responsabilidad ambiental y social corporativa en sus modelos de gestión, que inciden positivamente en las variables competitivas ante el medio ambiente realizando acciones de mitigación, prevención y adaptación ante el cambio climático, lo que conlleva a establecer compromisos, políticas y estrategias de solución que contribuyan al desarrollo sostenible (Hammond, 2006; Matthews y col., 2008; Carballo y col., 2009).

A nivel internacional se empieza a limitar el comercio de bienes y servicios basado en la huella de carbono. Ante este panorama, el cambio climático afecta a empresas de todos los sectores de la economía y propiciará, entre otros elementos los siguientes cambios:

- Regulatorios a la hora de valorar una empresa y deberán tenerse en cuenta posibles impuestos ambientales y costos de cumplimiento.
- En la dinámica de los mercados.
- En la actitud del consumidor y en los patrones de la demanda.
- En los patrones meteorológicos, que ocasionan fenómenos climáticos extremos y daños en el suministro de agua y energía, que se traducen en costos que se deben tener en cuenta (Maldonado, 2010; Peralta, 2011).

En sus definiciones más completas, la huella de carbono recoge la demanda de superficie/emisiones de los GEI, de todos los bienes y servicios, los residuos generados y la ocupación del suelo en cada una de las fases del ciclo de vida, pasando por el diseño, la transformación, promoción, distribución, el transporte o la comercialización, y disposición final, pero este proceso es complejo, por lo que

puede elaborarse solo un subconjunto de una evaluación del ciclo de vida en la que sólo la categoría de emisiones de GEI se contabiliza en la huella de carbono medida en unidades de CO₂-eq (Espí y Sanz, 2009; Rööös y col., 2010).

La empresa debe considerar los factores ambientales como un elemento importante en su toma de decisiones, y reflejar claramente su liderazgo alcanzando la máxima calidad en el manejo y relación con el entorno, por lo que se puede aplicar con total propiedad el concepto de huella de carbono como indicador de sostenibilidad y como punto de referencia básico, para el inicio de actuaciones de reducción de consumo de energía, la producción de energías limpias y la adopción de compromisos voluntarios para la reducción de emisiones (Cots y Boglio, 2010; Carballo, 2010; OSE, 2010; Valderrama y col., 2011).

Toda empresa, como depositaria o poseedora de la huella de los productos que hereda o adquiere, es generadora de nueva huella y todo consumidor intermedio es en realidad un consumidor final provisional, en cuanto no se produzca la transferencia de sus productos al siguiente eslabón de la cadena, ya que es posible que tales productos no salgan de la empresa poseedora.

Cualquier producto que llega al consumidor final ha atravesado toda una cadena de valor, desde la extracción de las materias primas hasta el producto terminado, si una empresa opta por la sostenibilidad, podrá y deberá adquirir productos sin huella o con poca huella (los denominados productos verdes o certificados) y, a su vez, deberá implementar procesos productivos propios que no añadan nueva huella a ese producto adquirido (utilizando, por ejemplo, biocombustibles, comprando energía verde o implementando energías alternativas). Si esta práctica se extiende por toda la cadena se producirá un efecto dominó, como se ilustra en la Figura 9, un caso en la cadena de suministradores que está compuesta por cuatro empresas que producen atún en conserva: una compañía pesquera, una empresa conservera, un transportista y un restaurante, de modo que todos los proveedores

tenderán a hacerse cada vez más sostenibles con el fin de ser cada vez más competitivos.

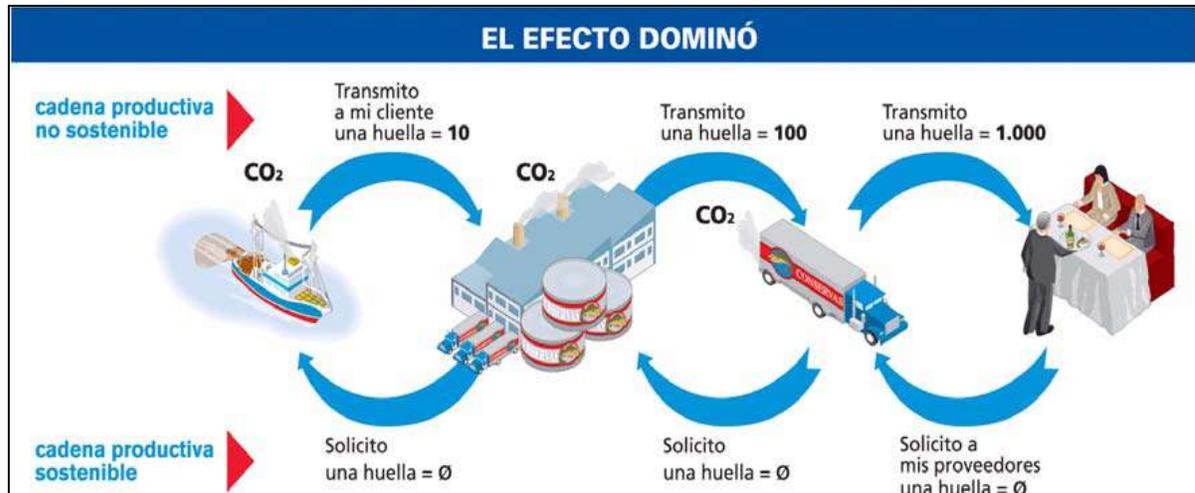


Figura 9. Efecto dominó en una cadena productiva (Doménech, 2006).

Numerosas compañías han ampliado su ámbito de actuación, considerando los procesos y operaciones de sus proveedores y clientes, lo cual ha permitido obtener beneficios relacionados con mejoras en la productividad, la elaboración de un inventario de recursos consumidos y de los residuos generados, que resulta útil para una mejor gestión ambiental y proporciona información para involucrar a toda la cadena logística en la reducción del impacto ambiental de bienes y servicios, posibilitando su ecoetiquetado y facilitando información ambiental a los consumidores, que permite establecer un mercado de eco-productos y eco-servicios bajos en huella, y por lo tanto, combatir mejor los futuros efectos del cambio climático (Doménech, 2007; Doménech y González, 2008; Carballo y Castromán, 2011).

El auge de la huella de carbono ha llevado a numerosas empresas a hacer pública la información sobre las emisiones relacionadas con sus productos y distinguirlas en un mercado cada vez más responsable que valora preferentemente a las empresas y productos más sostenibles. En América Latina el tema comienza a reconocerse y pocos han implementado acciones específicas para cuantificar la

huella de carbono de los productos de exportación como estrategia preventiva. Las iniciativas existentes responden a las nuevas exigencias de los mercados compradores o de empresas transnacionales (Samaniego, 2009).

Proponer modelos para contabilizar e informar los impactos de los GEI en productos y servicios, son patrocinados por los gobiernos y buscan facilitar la definición de estándares nacionales y contribuir a un desarrollo más sostenible, mediante la definición de efectivas políticas de reducción de emisiones y de los esfuerzos en el cambio tecnológico, con la implementación de energías renovables y la reducción en el consumo de recursos (Carbon Trust, 2006; Schneider y Samaniego, 2010; OSE, 2010; Churkina, 2012).

Existen cuatro métodos principales presentados en la literatura para el cálculo de la huella de carbono en empresas, organizaciones, servicios, procesos y productos (Guerra, 2007; Guevara, 2010; Costa y col., 2011; Valderrama y col., 2011).

El Protocolo de Gases Efecto Invernadero (Protocolo GEI), fue implementado en el 2001 por el Consejo Mundial de Negocios por el Desarrollo Sustentable (WBCSD por sus siglas en ingles) y por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI). Tiene como misión de desarrollar estándares de contabilidad y reporte de emisiones de los GEI y promover su amplia adopción Es fruto de una colaboración multilateral entre empresas, organizaciones no-gubernamentales y gobiernos, además cuenta con el apoyo de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). El Protocolo GEI es un marco metodológico general para el desarrollo de herramientas de cálculo de emisiones (Ranganathan y col., 2005).

La metodología Balance de Carbono, conocida internacionalmente como Bilan Carbone (BC) fue desarrollada por la Agencia del Medio Ambiente y Energía de Francia (ADEME) en el 2002. La herramienta fue elaborada específicamente para

convertir datos relativos a las actividades productivas en emisiones, usando factores de emisión, se caracteriza por una visión generalista muy completa, por lo que, a través de sus distintos módulos, permite trabajar a nivel de empresas y eventos pero también de territorios y productos del continente Europeo.

El método de las Especificaciones Públicamente Disponibles (PAS 2050), fue elaborado en el año 2008 por el Instituto Británico de Estandarización (BSI), con el apoyo del Carbon Trust y el Departamento para el Ambiente, la Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA), ambos organismos del gobierno inglés. El método está enfocado al cálculo de las emisiones de productos y servicios, y responde a las normativas ISO y a las del Protocolo GEI. La metodología PAS 2050 define las fuentes de emisiones que deben ser consideradas en la estimación del ciclo de vida de bienes y servicios (Valderrama y col., 2011).

El Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3 o Método de las 3 C) fue propuesto por Doménech en el año 2004 y desarrollado desde entonces por su grupo de investigación. La información necesaria para estimar la huella de carbono es obtenida de documentos contables como el balance y la cuenta de pérdidas y ganancias, lo que permite una clara delimitación de las actividades que están asociadas a cada organización. El MC3 estima la huella de todos los bienes y servicios recogidos en las cuentas contables, los residuos generados debido a la adquisición de estos bienes y el espacio ocupado por todas las instalaciones de la empresa que recogen las cuentas contables. De esta forma el método MC3 determina la huella de carbono corporativa en asociación con los productos.

La selección de un método particular para el cálculo de la huella de carbono depende del grado de disponibilidad de datos de actividad, factores de emisión, los recursos financieros y humanos disponibles para elaborar el inventario. Puesto de una manera simple la huella de carbono en cualquiera de los métodos descritos arriba es calculada adicionando, mediante algún modelo matemático, los varios

factores que inciden en la producción de GEI. El Cuadro 3 resume los cuatro métodos, mostrando el nivel de enfoque y la escala.

Cuadro 3. Métodos para la determinación de la huella de carbono.

Métodos para la determinación de la huella de carbono					
Metodologías	Enfoque	Escala	Unidades	Actividades	Referencia
Protocolo de Gases Efecto Invernadero	Corporativo	Empresa	tCO ₂ eq/año	Todas las actividades de una organización	Protocolo GEI, 1996
Balance de Carbono	Corporativo	Empresa, Territorio y Producto	kg CO ₂ eq/año kg CO ₂ eq/Unidad funcional	Todas las actividades de una organización	BC, 2011
Especificación PAS 2050	Producto:	Producto	kg CO ₂ eq/Unidad funcional	Todas las actividades productivas	BSI, 2008
Método Compuesto de Cuentas Contables MC3	Corporativo + Producto	Empresa y Producto:	tCO ₂ eq/año tCO ₂ eq/tprod. Ha Globales (Gha)	Todas las actividades de una organización	Doménech, 2004

Estos métodos utilizan un acercamiento muy similar para la obtención de datos como es el ACV del producto. Una vez que se esquematiza el ACV del producto, desde que se extraen las materias primas hasta el lugar de su disposición final. La principal diferencia entre la huella de carbono y el ACV es la limitación del alcance de la empresa, es decir hasta dónde las emisiones de otros procesos influyen en el proceso en estudio. Una vez que se tiene el proceso bien delimitado, se extraen datos diferentes del proceso, para cada método de determinación.

1.6 Límites organizacionales.

Las operaciones de las empresas varían tanto en su estructura legal como en su estructura organizacional; incluyen operaciones que son de su propiedad, alianzas incorporadas y no incorporadas, subsidiarias y otras modalidades. La contabilidad también pretende vincular los datos de emisión a operaciones, sitios, localizaciones, unidades de negocio, procesos y propietarios específicos.

Para reportes corporativos es posible utilizar dos enfoques distintos orientados a consolidar las emisiones de GEI: el de participación accionaria y los enfoques de control (Ranganathan y col., 2005).

Si la empresa es propietaria absoluta de todas sus operaciones, su límite organizacional será el mismo, independientemente del enfoque que se utilice. Para empresas con operaciones conjuntas con otras empresas, el límite organizacional y las emisiones resultantes pueden diferir dependiendo del enfoque utilizado. Tanto en operaciones que son propiedad absoluta de la empresa como en operaciones conjuntas, la elección del enfoque puede significar cambios en la categorización de las emisiones al momento de fijar los límites operacionales.

1.7 Límites operacionales.

Con los límites operacionales se pueden identificar las emisiones asociadas a las operaciones de las empresas, clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas.

Administrar los GEI de manera efectiva y novedosa, y establecer límites operacionales comprensivos respecto de las emisiones directas e indirectas ayudará a una empresa a manejar mejor el espectro total de los riesgos y las oportunidades a lo largo de su cadena de valor.

1.7.1 Alcances.

El alcance de las emisiones directas e indirectas para operaciones que se desarrollan por las actividades de una empresa, se basa en la identificación y categorización de las emisiones en cada nivel de operación.

El Protocolo de gases de efecto invernadero establece tres alcances de emisiones que proveen un marco de contabilidad inclusivo para el manejo y reducción de emisiones directas e indirectas (Ranganathan y col., 2005). Los alcances se muestran en la Figura 10, con un panorama de las actividades que generan emisiones directas e indirectas a lo largo de la cadena de valor de una empresa.

- Alcance 1: emisiones directas, que ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa.
- Alcance 2: emisiones indirectas derivadas de la generación, por parte de terceros, de energía, calor o vapor.
- Alcance 3: es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas, son emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización que ocurren fuera de ésta y no son controladas o generadas por ésta.

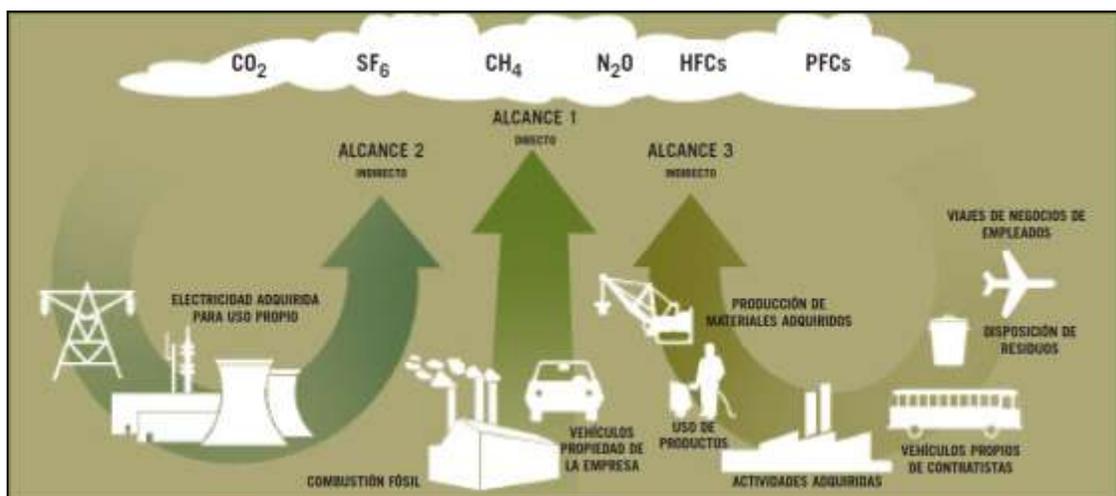


Figura 10. Alcances de emisiones a través de una cadena de valor (Ranganathan y col., 2005).

2 HIPÓTESIS.

La metodología del Protocolo GEI, utilizando factores de emisión y las guías elaboradas por el IPCC en su versión 2006, es una metodología apta para el cálculo del inventario de emisiones de GEI para el sector de bienes y servicios.

3 OBJETIVOS.

3.1 General.

Implementar una metodología para inventariar las emisiones de CO₂-eq del sector energético por combustión móvil, elaborando un caso de estudio con una empresa de distribución, con el fin de obtener la huella de carbono del transporte, como expresión de su compromiso ético ante la problemática del cambio global.

3.2 Específicos.

- ❖ Cuantificar las fuentes de emisiones por combustión móvil y medir el consumo de combustibles.
- ❖ Identificar los alcances de los tipos de transporte.
- ❖ Revisión de metodologías existentes y elaboración de un inventario de emisiones del sector energía para combustión móvil.
- ❖ Medir la huella de carbono en hectáreas de terreno forestal.
- ❖ Comparación de resultados con calculadoras de carbono.

4 METODOLOGÍA.

Las emisiones de GEI han aumentando drásticamente en los últimos años por consecuencias de las actividades para satisfacer las necesidades de la población, el aumento más importante de estas emisiones proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, por la quema de combustibles fósiles.

Las emisiones de GEI relacionadas al transporte constituyen uno de los principales parámetros diferenciadores entre bienes de consumo similares, afectando directamente la competitividad en mercados más sensibles al tema, desacoplando la decisión de consumo de su condicionante convencional, el precio (Bórquez, 2010) y dado que una mayor demanda de productos, produce un mayor consumo de combustible, el cual a su vez representa la principal fuente de contaminación del aire, pues se producen emisiones de GEI directos e indirectos, que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional.

La elaboración de un inventario de emisiones de GEI para obtener la huella de carbono es el primer paso para reducir las emisiones generadas, ya que es el precedente con el cual podemos conocer la cantidad de emisiones generadas y así lograr construir un balance de carbono, el cual varía en el tiempo, espacio y potencial de remoción.

4.1 Materiales.

- Computadora con software que permita crear tablas, calcular.
- Bitácoras de uso de vehículos de la empresa.
- Documentos contables de combustibles.
- Registros de entradas y salidas de transporte de la empresa.
- Registro de origen y destino del uso de transporte.
- Registro de tráfico nacional e internacional usado.

- Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Informes de operaciones de la empresa y los prestadores de servicio del año base para la elaboración del inventario.

4.2 Métodos.

La medición de la huella de carbono es posible obtenerla como primaria, de tal modo que solo se midan las emisiones de GEI directas, a partir de la quema de combustibles fósiles, por uso de transporte (auto, avión, tren). En el Cuadro 3 se muestran los métodos para la determinación de la huella de carbono, sin embargo las condiciones de la empresa de distribución solo permite utilizar aquellas metodologías de enfoque corporativo y una escala de empresa, por lo que la metodología que cumple con los requisitos es el Protocolo de GEI.

El inventario se realizó mediante el uso del libro de trabajo, el manual de referencia y las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases GEI, con fórmulas acondicionadas para la región, consumos y factores económicos propios de la región. Se consideró como parámetro de medición, la unidad de toneladas de CO₂ equivalente por año (tCO₂-eq/año) para el inventario de emisiones y para la huella de carbono las hectáreas de terreno forestal.

4.3 Diseño experimental.

Se buscó una empresa dedicada a la distribución y almacenamiento de productos, en la cual se tomó el año 2010 como base para la elaboración del inventario, debido a que fue el año en el cual la empresa tuvo la iniciativa de calcular sus emisiones.

Se solicitó a la empresa en cuestión, información acerca de las fuentes de combustión móvil por uso de transporte, y acceso a base de datos de todo el

transporte usado durante el año 2010, y se pidió llenar los formatos indicados en el Anexo para la elaboración del inventario, los límites organizacionales y operacionales se elaboraron en base a las actividades de la empresa del año 2010.

Las emisiones de GEI de las que mayor control se puede tener dependiendo del alcance, son las relacionadas al transporte, por lo que se elaboró un inventario de emisiones en una empresa de distribución de productos químicos cuya actividad principal es el transporte. Mediante el resultado del inventario de emisiones se estimó la huella de carbono empresarial (cantidad de terreno forestal que absorbe las emisiones), en la Figura 11 se muestra el esquema de la metodología.

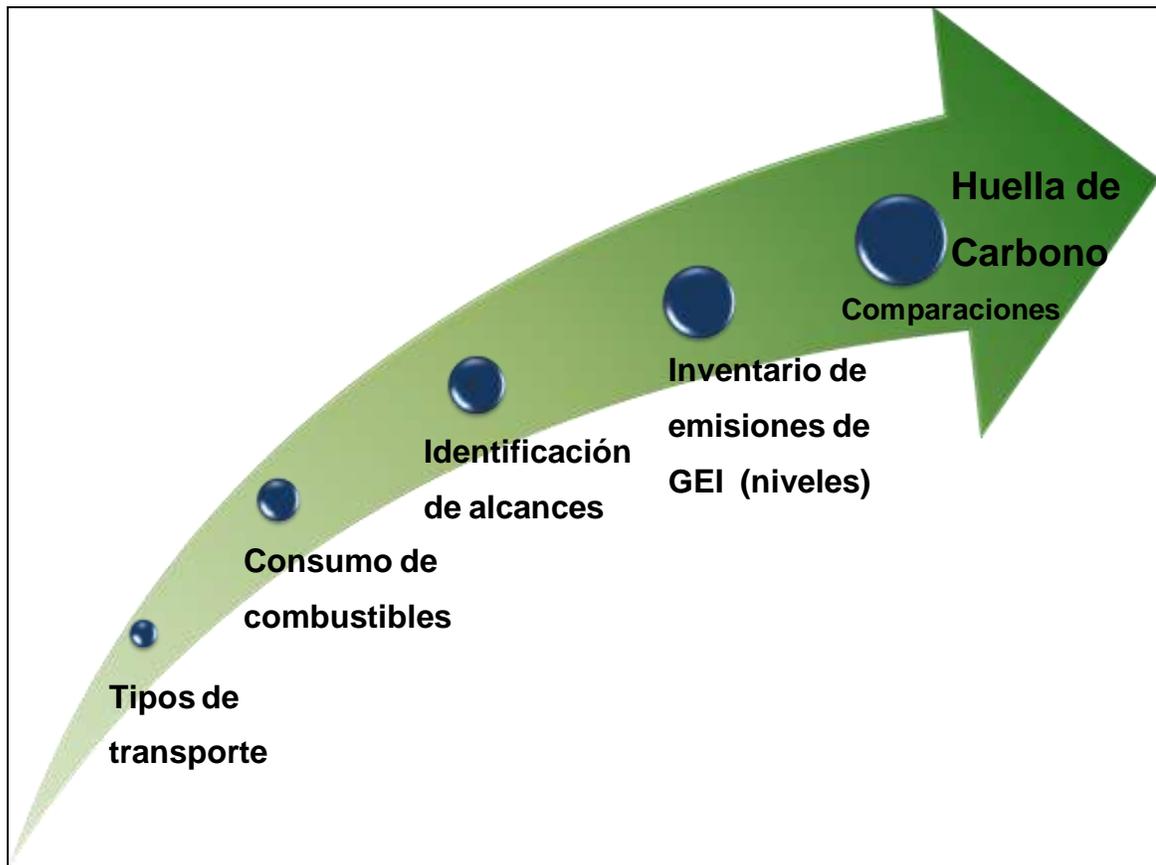


Figura 11. Metodología para la obtención de la huella de carbono.

4.3.1 Identificación de límites organizacionales y operacionales.

El enfoque de límite organizacional de la empresa es de control operacional, debido a que la empresa es propietaria absoluta de todas sus operaciones, como son llegadas de producto, almacenamiento y distribución.

El límite operacional para la elaboración del inventario de emisiones se realizó tomando en cuenta únicamente los datos de emisiones por combustión móvil de transporte terrestre, ferroviario y marítimo de mercancías, y de transporte aéreo de empleados, solo de un centro de distribución.

4.3.2 Identificación de fuentes y alcances.

Se identificaron cuatro tipos de transporte para la realización de actividades tanto dentro de las instalaciones de la empresa como fuera de ella, los cuales son:

- Transporte terrestre: incluye las actividades de transporte de los diferentes vehículos que son propiedad de la empresa.
- Transporte aéreo: comprende solo viajes de negocios de empleados, en vuelos comerciales.
- Transporte ferroviario: comprende la carga de materiales y el servicio es prestado por una empresa.
- Transporte marítimo: la carga de materiales entre los puertos marítimos, (servicio prestado por una empresa).

En la Figura 12 se muestran los alcances de cada tipo de transporte, antes descritos, indicando solo el alcance 1 para el transporte terrestre y alcance 3 para el transporte aéreo, ferroviario y marítimo.

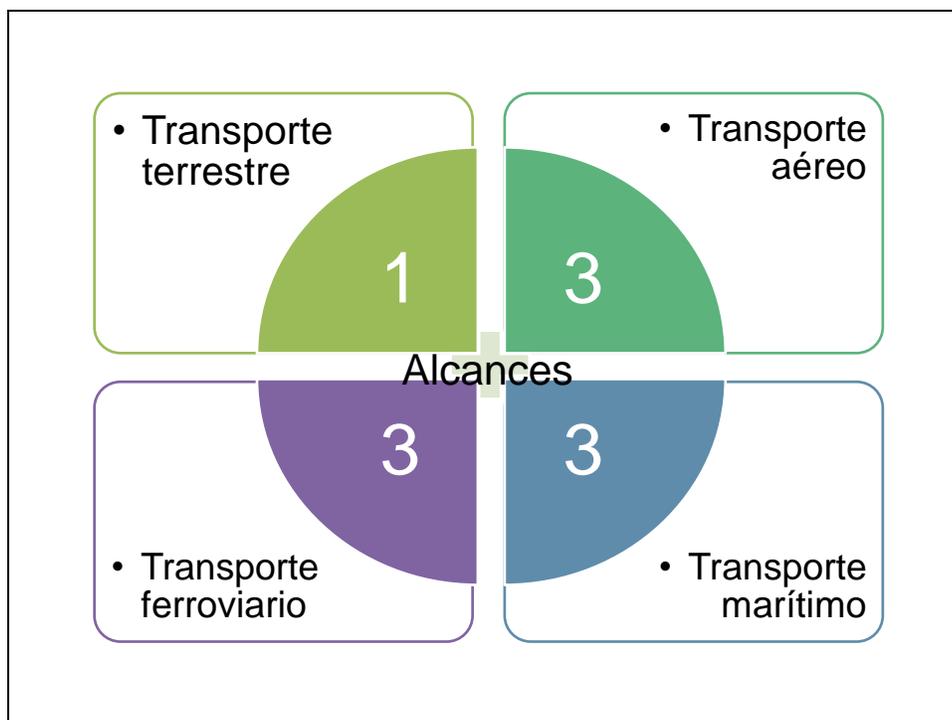


Figura 12. Alcances de los diferentes tipos de transporte.

4.3.3 Inventario de emisiones.

La medición directa de emisiones de GEI mediante el monitoreo de concentración y flujo no es común. Pero con frecuencia, las emisiones pueden calcularse con base en un balance de masa o fundamento estequiométrico específico para una planta o proceso. Sin embargo, la aproximación más común para calcular las emisiones de GEI es mediante la aplicación de factores de emisión documentados. Estos factores son cocientes calculados que relacionan emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión.

Los lineamientos del IPCC otorgan metodologías acordadas internacionalmente y tecnologías de cálculo que van de la aplicación de factores genéricos en niveles que representan la complejidad metodológica. Existen tres niveles siendo el nivel 1 el método básico, el nivel 2 el intermedio, y el nivel 3 es el más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos de los datos. A veces se denominan los niveles 2

y 3, métodos de nivel superior y se los suele considerar más exactos (Eggleston y col., 2006).

El inventario de emisiones se desarrolló en base a las metodologías de las directrices del IPCC dependiendo de la existencia y calidad de información que proporcionó la empresa, la Figura 13 muestra las metodologías usadas a los niveles de los diferentes tipos de transporte.

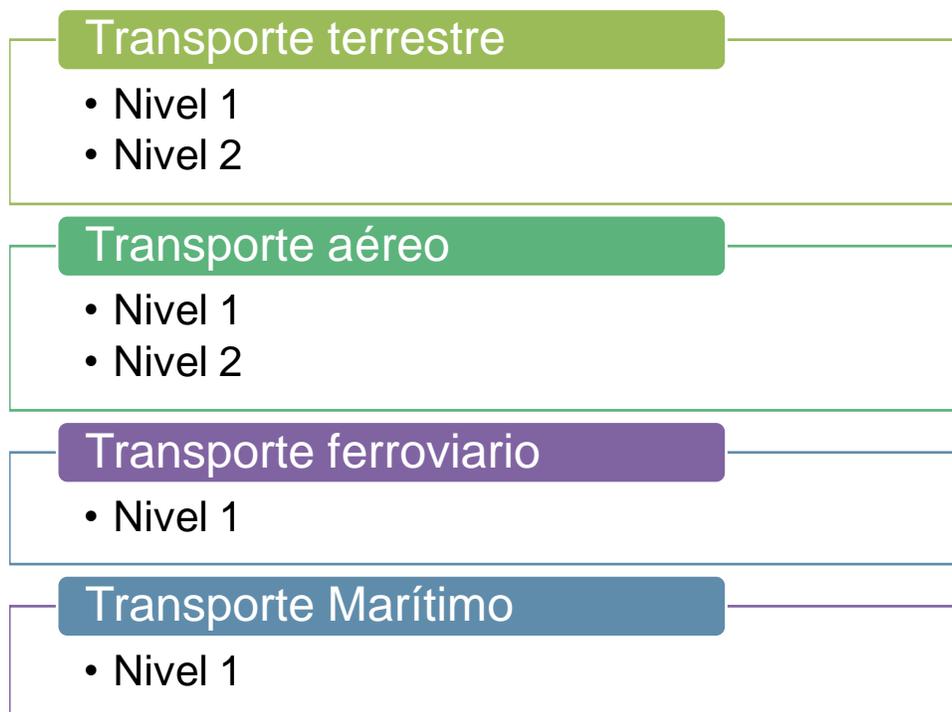


Figura 13. Niveles de los diferentes tipos de transporte.

4.3.3.1 Transporte terrestre.

La categoría de fuentes móviles por transporte terrestre en la empresa es de alcance 1 y se basa en el manejo de los vehículos para servicio pesado fuera de las instalaciones de la empresa como lo son pipas y trailers que usan diesel y gasolina y para uso interno en los montacargas el combustible usado es gas licuado petróleo (GLP).

La empresa proporcionó información anual para el uso de vehículos de transporte terrestre en el año 2010, la cual se muestra en el Cuadro 4, indicando la distancia recorrida en kilómetros (km) y el rendimiento de combustible en kilómetros por litro (km/L) de cada vehículo.

Cuadro 4. Datos de los vehículos de transporte terrestre.

Datos de los vehículos de transporte terrestre			
Tipo de vehículo (a)	Tipo de combustible (b)	Distancia recorrida (km)	Rendimiento de combustible (km/L)
Full	Diesel	2450	1.9
Pipa	Diesel	63178	2.2
Pipa	Diesel	38874	2.8
Pipa	Diesel	166143	3
Pipa	Diesel	20950	3.1
Pipa	Diesel	229882	3.3
Torton	Diesel	258643.8	3.3
Trailer	Diesel	673039	2.2
Camioneta	Gasolina	291280.8	3.7
Montacargas	GLP	59766	2.1

Para determinar la cantidad de consumo de combustible para el transporte terrestre por tipo de vehículo se divide la distancia recorrida entre el rendimiento del combustible como se muestra en la Ecuación 1:

$$\text{Consumo de combustible}_{ab} \text{ (L)} = \frac{\text{Distancia recorrida}_{ab} \text{ (km)}}{\text{Rendimiento de combustible}_{ab} \text{ (km/L)}}$$

Ecuación 1. Consumo de combustible en transporte terrestre nivel 1.

Donde:

Consumo de combustible= son los litros de combustible anuales que se utilizaron.

Distancia recorrida= son los kilómetros recorridos anualmente por cada tipo de vehículo.

Rendimiento de combustible= los km/L que se muestran en el Cuadro 4.

a= tipo de vehículo (p. ej. Camioneta, pipa, montacargas, etc.).

b= tipo de combustible: gasolina, diesel y GLP.

El consumo de combustible procedente de la quema de combustibles fósiles se debe expresar en unidades de energía, ya que el contenido de carbono de los combustibles es menos variable cuando se expresa en estas unidades, que cuando se expresa en unidades de masa o volumen, por lo cual se usa el valor calórico neto (VCN) para la conversión a unidades de energía.

Con los datos proporcionados por la empresa y el uso de la Ecuación 1, la cantidad de combustible queda en unidades de volumen (L), dado que los VCN de las directrices del IPCC están expresados en unidades de masa en kilogramos (kg), se debe realizar una conversión de unidades de volumen a unidades de masa, la cual se puede realizar mediante la Ecuación 2:

$$\text{Cantidad de combustible}_b \text{ (kg)} = \text{Consumo de combustible}_b \text{ (L)} * P_{(\text{esp})b} \text{ (kg/L)}$$

Ecuación 2. Cantidad de combustible de transporte terrestre nivel 1.

Donde:

Cantidad de combustible= son los kilogramos de combustible anual usados por tipo de combustible, es decir gasolina, diesel y GLP.

Consumo de combustible= son los litros de combustible de gasolina, diesel y GLP, obtenidos con la Ecuación 1.

$P_{(\text{esp})}$ = peso específico (kg/L), los valores se muestran en el Cuadro 5, obtenidos del Informe de métodos y factores de conversión 2002 de la Industria petrolera mexicana.

b= tipo de combustible: gasolina, diesel y GLP.

Cuadro 5. Peso específico de combustibles.

Peso específico de combustibles	
Combustible	P _{esp.} kg/L
Diesel	0.85
Gasolina	0.707
GLP	0.54

El combustible utilizado se expresa en unidades de energía, los cuales se obtienen con la cantidad de combustible (kg) obtenido con la Ecuación 2 multiplicado por el VCN, como se muestra en la Ecuación 3.

$$\text{Combustible utilizado}_b \text{ (TJ)} = \sum (\text{Cantidad de combustible}_b * \text{VCN}_b)$$

Ecuación 3. Combustible utilizado en transporte terrestre nivel 1.

Donde:

Combustible utilizado= las unidades de energía obtenidas son terajulios (TJ).

Cantidad de combustible= los kg de combustible, obtenidos de la Ecuación 2.

VCN= Valores calóricos netos (TJ/kg) de las directrices del IPCC 2006, mostrados en el Cuadro 6.

b= tipo de combustible: gasolina, diesel y GLP.

Cuadro 6. Valores calóricos netos.

Valores calóricos netos (VCN)	
Combustible	VCN (TJ/10 ³ ton)
Diesel	43.0
Gasolina	44.30
GLP	47.3

En el método de nivel 1 las emisiones de los GEI directos se calculan multiplicando el combustible utilizado en términos de energía por un factor de emisión, el método se representa en la Ecuación 4:

$$\text{Emisiones}_{bi} \text{ (kg)} = \sum_{ai} (\text{Combustible}_{bi} * \text{FE}_{bi})$$

Ecuación 4. Emisiones de transporte terrestre nivel 1.

Donde

Emisiones= son las emisiones de GEI directos en unidades de masa (kg), haciendo distinción de cada GEI.

Combustible= Combustible utilizado en unidades de TJ, obtenido con la Ecuación 3.

FE= Factor de emisión en unidades de kilogramo por terajulio (kg/TJ) de las directrices del IPCC 2006, los cuales se muestran en el Cuadro 7 para los GEI.

b= tipo de combustible: gasolina, diesel y GLP.

i= tipo de GEI: CO₂, CH₄ y N₂O.

Cuadro 7. Factores de emisión de transporte terrestre nivel 1.

Factores de emisión de transporte terrestre nivel 1 (kg/TJ)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	74100	3.9	3.9
Gasolina (motores con catalizador)	69300	25	8
GLP	63100	62	0.2

Los GEI directos, difieren en su influencia térmica sobre el sistema climático mundial, debido a sus diferentes propiedades radiativas y períodos de permanencia en la atmósfera, estas influencias pueden expresarse mediante una métrica común, que son las unidades de CO₂-eq, las cuales se obtienen sumando las emisiones de cada GEI multiplicadas por su potencial de calentamiento mundial (PCM), como se muestra en la Ecuación 5.

$$\text{Total de CO}_2\text{-eq (ton)} = [(\sum \text{Emisión de CO}_2) (\text{PCM CO}_2) + (\sum \text{Emisión de CH}_4) (\text{PCM CH}_4) + (\sum \text{Emisión de N}_2\text{O}) (\text{PCM N}_2\text{O})]$$

Ecuación 5. Total de CO₂-eq.

Donde:

Total de CO₂-eq= son las toneladas (ton) de CO₂-eq, las cuales representan el total de emisiones para cada tipo de transporte.

Emisión de GEI= son las obtenidas de la Ecuación 4, y se clasifican por tipo de GEI en CO₂, CH₄ y N₂O.

PCM= Potencial de calentamiento mundial para un horizonte temporal. En este inventario se usa un horizonte temporal de 100 años para los GEI tomando los valores del Segundo Informe de Evaluación del IPCC de 1995, los cuales se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Potenciales de calentamiento mundial de GEI

Potenciales de calentamiento mundial de GEI			
PCM 100 años	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	1	21	310

El método de nivel 2 utiliza el contenido de carbono específico del país para el CO₂, en México no se cuenta con este dato por lo que se usa el mismo factor que en el nivel 1 de transporte terrestre y por lo tanto se usa la Ecuación 4 (solo para el CO₂). Las emisiones de CH₄ y N₂O para el método del nivel 2 se ven significativamente afectadas por la distribución de los controles de emisión de la flota y considera la distancia recorrida de cada vehículo. La Ecuación 6 corresponde al método del nivel 2 para estimar el CH₄ y el N₂O de los vehículos terrestres, distinguiendo el tipo de combustible y vehículo.

$$\text{Emisiones}_{ab} \text{ (kg)} = \sum_{ab} (\text{Distancia}_{ab} * \text{FE}_{ab})$$

Ecuación 6. Emisiones CH₄ y N₂O de transporte terrestre nivel 2.

Donde:

Emisiones= son los kg de emisiones de CH₄ y N₂O, los cuales dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y las condiciones de uso.

Distancia= son los km recorridos por cada vehículo, los cuales se muestran en el Cuadro 4.

FE= Factor de emisión en unidades de miligramos por kilometro (mg/km), de las directrices del IPCC 2006, los cuales se muestran en el Cuadro 9 para los GEI.

a= tipo de vehículo (p. ej. vehículo pesado, con catalizador etc.).

b= tipo de combustible: gasolina, diesel y GLP.

Cuadro 9. Factores de emisión de transporte terrestre nivel 2.

Factores de emisión de transporte terrestre nivel 2 (mg/km)		
Vehículo pesado	CH ₄	N ₂ O
Diesel avanzado o sin controlar	4	3
Gasolina con catalizador	111	55
GLP	24	5

El cálculo del total de las emisiones de CO₂-eq se obtiene con la Ecuación 5, usando el valor de las emisiones de la Ecuación 6 para el CH₄ y N₂O y las emisiones de CO₂ de la Ecuación 4.

4.3.3.2 Transporte aéreo.

Las emisiones que se producen por el transporte aéreo se basan en el uso de queroseno como combustible, y los GEI que emiten dependen de la cantidad y la naturaleza de las operaciones de la aeronave; los tipos y la eficacia de sus motores; el combustible utilizado; la duración del vuelo; el tiempo usado para cada etapa del vuelo; y en menor medida la altitud a la cual se emiten los gases de escape. La categoría del IPCC referida a la aviación civil comprende las emisiones procedentes de todos los usos civiles y comerciales que consisten en el transporte de pasajeros, carga, y la aviación general (Eggleston, 2006).

El transporte aéreo para la elaboración del inventario de emisiones se dividió en:

- Viajes nacionales: comprende el tráfico civil de pasajeros, dentro del país.
- Viajes internacionales: incluye el tráfico civil de pasajeros que ingresa y abandona el país.

La información proporcionada de los vuelos nacionales de la empresa en el año 2010 se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Información de transporte aéreo nacional.

Información de transporte aéreo nacional		
Cantidad de vuelos	Origen	Destino
2	Guadalajara	México
3	Hermosillo	México
2	Hermosillo	Monterrey
2	León	Tijuana
2	México	Guadalajara
2	México	Hermosillo
2	México	Monterrey
4	México	Poza Rica
1	México	Tampico
2	México	Tijuana
1	Monterrey	Hermosillo
1	México	Monterrey
10	Monterrey	Querétaro
4	Poza Rica	México
2	Querétaro	Hermosillo
9	Querétaro	Monterrey
1	Tampico	México
5	Tijuana	México

La información proporcionada de los vuelos internacionales de la empresa en el año 2010 se muestra en el Cuadro 11, indicando el número, origen y destino de vuelos.

Cuadro 11. Información de transporte aéreo internacional.

Información de transporte aéreo internacional		
Cantidad de vuelos	Origen	Destino
1	Houston	México
1	Houston	Querétaro
1	México	Houston
1	México	Miami
1	Miami	México
1	Querétaro	Houston

El método de nivel 1 para estimar las emisiones procedentes de las actividades aeronáuticas, se basa en los datos sobre el consumo de combustible para la aviación multiplicada por los factores de emisión promedio. Se toma como referencia una aeronave igual para todos los vuelos, siendo B737-400 usada en México y Estados Unidos de Norteamérica, que es donde se realizaron los vuelos. Las emisiones se calculan según la Ecuación 7:

$$\text{Emisiones}_i \text{ (kg)} = \sum \text{Consumo de combustible}_i \text{ (TJ)} * \text{Factor de emisión}_i$$

Ecuación 7. Emisiones de transporte aéreo nivel 1.

Donde:

Emisiones= son los kg por tipo de GEI.

Consumo de combustible= se obtiene de la base de datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente y se reporta en unidades de energía (TJ).

Factor de emisión= se usan los factores reportados en las directrices del IPCC 2006 para los GEI directos en el transporte aéreo nacional e internacional, los cuales se muestran en el Cuadro 12 y se basan en el tipo de combustible.

i= tipo de GEI: CO₂, CH₄ y N₂O.

Cuadro 12. Factores de emisión del queroseno.

Factores de emisión del queroseno (kg/TJ)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Queroseno	71500	0.5	2

Para la obtención del combustible utilizado en cada vuelo es necesario calcular primero la distancia entre los aeropuertos en millas náuticas (1mn = 1.852 km), la cual se obtiene con las coordenadas de cada aeropuerto mediante base de datos de IATA (Agencia Internacional de Agentes de carga aérea) geo-referencia ,y con la base de datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente EMEP/EEA 2009, Civil and military aviation (Winther, 2009), se obtienen los kg de combustible usados en cada vuelo, dado que el consumo de combustible se debe expresar en unidades de energía, se usa el valor calórico neto (VCN) para la conversión a unidades de energía (TJ), el cual en las directrices del IPCC 2006 para el queroseno es de 44.1 TJ/Gg.

La obtención del total de las emisiones de CO₂-eq para el nivel 1, se obtienen con la Ecuación 5 usando el valor de las emisiones obtenidas de la Ecuación 7 para el CO₂, CH₄ y N₂O, las cuales corresponden al total de vuelos y de viajes, pero debido a que la empresa realizó vuelos comerciales tanto para viajes nacionales como internacionales, se deben solo considerar las emisiones corporativas, es decir las emisiones que le corresponden a la empresa debido a que en los vuelos la empresa no fue la única usuaria del servicio, las emisiones corporativas se obtienen mediante la Ecuación 8.

$$\text{Emisiones corporativas CO}_2\text{-eq} = \frac{\text{Total de CO}_2\text{-eq/número de pasajeros}^*}{\text{número de empleados.}}$$

Ecuación 8. Emisiones corporativas de transporte aéreo.

Donde:

Emisiones corporativas= son las correspondientes a la empresa, no a los vuelos totales.

Total de CO₂-eq = se realiza la sumatoria de las emisiones nacionales e internacionales.

Número de pasajeros= se usa el valor de 124 que es el promedio de pasajeros que son transportados por aeronaves tipos B737-400.

Número de empleados= empleados de la corporación que realizaron cada vuelo.

El método de nivel 2 hace una división de las operaciones de las aeronaves en:

- Ciclo de aterrizaje y despegue (LTO); es la operación aérea que considera el despegue y el aterrizaje en su conjunto como una sola operación y el número de ciclos, por lo tanto es el número de vuelos.
- Crucero; todas las actividades aeronáuticas que se desarrollan a una altitud superior a los 914 metros (3 000 pies), incluidas las operaciones adicionales de ascenso o descenso por encima de esta altitud.

Para emplear el método del nivel 2 se necesita conocer el número de ciclos o número de vuelos realizados, considerando un aterrizaje y un despegue para cada tipo de aeronave. Dado que la mayoría de los vuelos se consideran vuelos de ida y vuelta, el combustible utilizado durante el aterrizaje y el despegue se considera equivalente a un LTO.

Para la obtención del total de emisiones se realiza la sumatoria de las dos etapas LTO y crucero como se muestra en la Ecuación 9.

$$\text{Emisiones totales (kg)} = \sum \text{Emisiones en LTO} + \sum \text{Emisiones en crucero}$$

Ecuación 9. Emisiones totales de transporte aéreo nivel 2.

Donde:

Emisiones totales= son los kg totales de GEI.

Emisiones en LTO= se calculan con la Ecuación 10 y se describen los valores a usar.

Emisiones en crucero= se calculan con la Ecuación 11.

$$\text{Emisiones LTO (kg)} = \text{Numero de ciclos}_{\text{LTO}} * \text{FE}_{\text{LTO}}$$

Ecuación 10. Emisiones LTO de transporte aéreo.

Donde:

Emisiones en LTO= son los kg de emisiones GEI correspondientes a la etapa LTO.

Número de ciclos_{LTO}= número de vuelos diferenciando nacionales e internacionales.

FE_{LTO}=factores de emisión para la etapa LTO obtenidos de Emission inventory guidebook 2009 para una aeronave tipo B737-400, los cuales se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Factores de emisión en LTO.

Factores de emisión en LTO (kg/LTO)			
Tipo de vuelo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Nacional e Internacional	2600	0.1	0.1

Para el cálculo en la etapa de crucero se usa la Ecuación 11.

$$\text{Emisiones crucero (kg)} = \text{Consumo de combustible}_{\text{CRUCERO}} * \text{FE}_{\text{CRUCERO}}$$

Ecuación 11. Emisiones crucero de transporte aéreo.

Donde:

Emisiones crucero= son los kg de emisiones GEI correspondientes a la etapa crucero.

Consumo de combustible $_{CRUCERO}$ = se estima como residual con el uso total de combustible menos combustible usado en la fase LTO del vuelo.

$FE_{CRUCERO}$ = los factores de emisión de esta etapa también se obtienen del Emission inventory guidebook 2009 para una aeronave tipo B737-400, los cuales se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Factores de emisión en crucero.

Factores de emisión en crucero (kg/ton)		
Tipo de vuelo	CO ₂	N ₂ O
Nacional e Internacional	3150	0.1

Para la etapa crucero se estima el uso del combustible para la aviación nacional e internacional por separado mediante la Ecuación 12:

$$\text{Combustible crucero (kg)} = \text{Consumo total} - \text{Consumo}_{LTO}$$

Ecuación 12. Consumo de combustible en etapa crucero.

Donde:

Combustible crucero= son los kg de combustible que se consumieron en la etapa crucero.

Consumo total= El consumo total de combustible (kg) en cada vuelo se obtiene con la base de datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente EMEP/EEA 2009, Civil and military aviation.

Consumo $_{LTO}$ = El consumo en LTO se obtiene mediante la multiplicación del número de LTO por el factor de combustible, como se muestra en la Ecuación 13.

$$\text{Combustible LTO (kg)} = \text{Número de ciclos}_{LTO} * FC_{LTO}$$

Ecuación 13. Consumo de combustible en etapa LTO.

Donde:

Combustible LTO= son los kg de combustible que se consumieron en la etapa LTO.

Número de ciclos_{LTO}= número de vuelos diferenciando nacionales e internacionales

FC= Factor de combustible es de 825 kg/LTO, para una aeronave tipo B737-400.

El cálculo del total de las emisiones de CO₂-eq se obtienen con la Ecuación 5, usando el valor de las emisiones de la Ecuación 9 y las emisiones corporativas se calculan con la Ecuación 8 del nivel 1, dado que se mantienen las mismas condiciones de las aeronaves en modelo y distancia.

4.3.3.3 Transporte ferroviario.

Los ferrocarriles que funcionan con motores a diesel en combinación con un alternador o generador son los más comunes en México. La información proporcionada por la empresa para el cálculo de las emisiones del transporte ferroviario se muestra en el Cuadro 15, indicando el número de unidades referidas a carrotanques, el origen, escala y destino.

Cuadro 15. Información de transporte ferroviario

Información de transporte ferroviario			
Unidades anuales	Origen	Escala	Destino
120	Thompson.Illinois	Piedras Negras	Querétaro
8	Sarnia Canada	Nuevo. Laredo	Querétaro
60	Baytown.TX	Nuevo. Laredo	Querétaro
84	Baton rouge.LA	Nuevo. Laredo	Querétaro
60	FreePort.TX	Nuevo. Laredo	Querétaro
12	Plaquemine L.A	Nuevo. Laredo	Querétaro
15	Texas.TX	Nuevo. Laredo	Querétaro
8	Seadrift.TX	Nuevo. Laredo	Querétaro

Para el nivel 1, se estiman las emisiones usando los factores de emisión por defecto específicos del combustible que aparecen en el Cuadro 15, y se multiplican por el consumo de combustible total. Este método se describe en la Ecuación 14.

$$\text{Emisiones (kg)} = \sum(\text{Combustible} * \text{FE})$$

Ecuación 14. Emisiones de transporte ferroviario nivel 1.

Donde

Emisión= Emisiones en kg de GEI.

Combustible= Combustible que se consumió (TJ).

FE= Factor de emisión (kg/TJ), de las directrices del IPCC 2006 que se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Factores de emisión de transporte ferroviario nivel 1.

Factores de emisión de transporte ferroviario nivel 1 (kg/TJ)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	74100	4.15	28.6

Para determinar el consumo de combustible para el transporte ferroviario se usa, la Ecuación 15.

$$\text{Consumo de combustible (L)} = \text{FCP (L/ton-km)} / \text{Carga (ton)} * \text{distancia (km)}$$

Ecuación 15. Consumo de combustible de transporte ferroviario nivel 1.

Donde:

Consumo de combustible= son los litros de diesel que se utilizaron durante el año 2010.

FCP= factor de consumo promedio en litros de diesel por millar de ton-km para el año en el que se realizó la actividad, en este caso se usa el valor de 4.87 que es el promedio del año 2010 que reporta la empresa del servicio ferroviario en México, Ferromex Grupo México, considerando así el factor como 4.87 L /1000 ton-km.

Carga= las ton totales anuales, que son el número de unidades por 130 ton, considerando que la capacidad de carga máxima son 130 ton por cada unidad, para el año 2010.

Distancia= los km de distancia entre el origen y destino de cada trayecto.

Al igual que en el transporte terrestre la cantidad de combustible queda en unidades de volumen (L), por lo cual se usa la conversión de unidades de volumen a unidades de masa, mediante la Ecuación 2 del transporte terrestre, para este cálculo solo se necesita la información de diesel como combustible, al igual que en el uso de la Ecuación 3, para expresar el combustible utilizado en unidad de energía (TJ), multiplicando la cantidad de combustible (kg) por el VCN.

El resultado del total de las emisiones de CO₂-eq de GEI se obtiene con la Ecuación 5, usando el valor de las emisiones obtenidas de la Ecuación 14.

Respecto al nivel 2 del transporte ferroviario, para el CO₂, CH₄ y N₂O, se estiman las emisiones con los factores de emisión específicos del país, dado que para México no se tienen factores de emisión la única metodología que se puede usar es la del nivel 1.

4.3.3.4 Transporte marítimo.

La metodología del IPCC 2006 para la navegación incluye todo el transporte marítimo desde lo recreativo hasta los grandes transatlánticos de carga impulsados por motores diesel de baja, media y alta velocidad y, en ocasiones, por turbinas de vapor o de gas.

La información proporcionada por la empresa del uso de transporte marítimo anual se muestra en el Cuadro 17, indicando el número de unidades, el origen y destino.

Cuadro 17. Información de transporte marítimo.

Información de transporte marítimo		
Número de unidades anuales	Origen	Destino
30	Polonia	Veracruz
420	Alemania	Veracruz
24	Francia	Veracruz
4	Japon	Manzanillo
10	Malasia	Manzanillo

Para el nivel 1 los datos de consumo y los factores de emisión son específicos del tipo de combustible. El cálculo se basa en la cantidad de combustible quemado y en los factores de emisión para el CO₂, CH₄ y el N₂O. Este método se describe en la Ecuación 16.

$$\text{Emisiones}_b \text{ (kg)} = \sum(\text{Combustible que se consumió}_b * \text{FE}_b)$$

Ecuación 16. Emisiones de transporte marítimo nivel 1.

Donde

Emisiones= Emisiones en kg de GEI.

Combustible que se consumió= En unidades de TJ.

FE= Factor de emisión (kg/TJ), se muestran el Cuadro 18.

b= tipo de combustible.

Cuadro 18. Factores de emisión de transporte marítimo nivel 1.

Factores de emisión de transporte marítimo nivel 1 (kg/TJ)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	74100	7	2

Para determinar el consumo de combustible para el transporte marítimo es necesario contar con el trayecto total desde el origen hasta el destino, para lograr

medir el total de kilómetros recorridos o el consumo de combustible para cada trayecto, o bien la empresa que presta el servicio de transporte marítimo puede reportar los promedios como en el caso del transporte ferroviario.

El método de nivel 2 también utiliza el consumo de combustible por tipo de motor y exige factores de emisión específicos del país, para México no se tienen factores de emisión por lo cual solo la metodología del nivel 1 se puede realizar.

4.3.4 Huella de carbono.

El inventario anual de emisiones es la suma de los diferentes tipos de transporte, expresado en tCO₂-eq procedente de la quema de combustibles fósiles, mediante esta cantidad es posible obtener la superficie de terreno forestal para absorber estas emisiones, y el resultado es la huella de carbono empresarial.

La cantidad de hectáreas de terreno forestal necesarias para absorber las emisiones, se obtiene mediante el uso de un factor de absorción, la Ecuación 17 muestra el cálculo para la obtención de la huella de carbono.

$$\text{Huella de carbono (Ha)} = (\text{tCO}_2\text{-eq}) / (\text{Factor de absorción de CO}_2/\text{Ha}).$$

Ecuación 17. Huella de carbono en unidades de terreno forestal.

Donde:

Huella de carbono= es la cantidad de hectáreas de terreno forestal (Ha) necesarias para absorber las emisiones totales.

CO₂-eq = son las ton de la sumatoria de las emisiones totales del transporte.

Factor de absorción= es de 40 tCO₂/ha de bosque de encino-pino con individuos de 5 a 10 años en la región del estado de Querétaro (Manzano, 2008).

4.3.4.1 Calculadoras de huella de carbono.

En internet existen varias calculadoras para contabilizar la huella de carbono, estas herramientas son creadas por diferentes países y organismos, y de diferentes tipos educacional, de gobierno, de organizaciones no-gubernamentales y comercial principalmente, a veces se hace uso de ellas sin saber de sus alcances y exactitud, por lo cual se pueden obtener resultados semejantes que se pueden comparar con el obtenido con la metodología propuesta.

El objetivo de comparar los resultados es conocer que tan diferentes son los datos mostrados en estas calculadoras y que tanta confianza se puede tener en ellas. Se buscaron calculadoras en internet que enfatizan los gastos de consumo de combustible en el transporte terrestre.

Las calculadoras consultadas son cinco, las cuales se describen a continuación:

- Calculadora mexicana: creada por organizaciones mexicanas.
- Carbon footprint[®]: elaborada por la organización carbon footprint pero con adaptaciones para el México.
- E-CO₂[®]: calculadora de origen español que usa factores del IPCC.
- Ecopetrol: calculadora fabricada en Colombia.
- Reduce tu huella: producida por la red reduce tu huella en Chile.

5 RESULTADOS.

5.1 Inventario de emisiones.

5.1.1 Transporte terrestre.

La información proporcionada para la obtención de resultados de emisiones en el transporte terrestre, permitió realizar los cálculos con las metodologías del nivel 1 y 2, realizando algunas adaptaciones en la metodología del nivel 2, debido a la falta del factor nacional de emisión para el CO₂.

Para la obtención de las emisiones con la metodología del nivel 1 considerando el rendimiento de los combustibles por vehículo y la distancia anual, se usó la Ecuación 1 con la cual se obtuvo el valor del consumo anual de cada tipo de combustible en unidades de volumen, los cuales se multiplicaron por el peso específico de los combustibles del Cuadro 5 para obtener las unidades de volumen (L) a unidades de masa (kg), y mediante la Ecuación 3 con uso de los VCN del Cuadro 6 se obtuvo el valor de cada combustible en unidades de energía, los resultados del consumo de combustible en unidades de volumen y energía se muestran en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Consumo de combustibles de transporte terrestre.

Consumo de combustibles		
Combustible	Consumo (L)	Consumo (TJ)
Diesel	559994.32	20.47
Gasolina	78724.54	2.47
GLP	28460	0.73

Considerando condiciones similares de uso para los vehículos que usan el mismo tipo de combustible, se obtuvieron las emisiones para cada GEI y cada combustible

con la metodología de nivel 1, por medio de la Ecuación 4 y los factores de emisión del Cuadro 7, los resultados se muestran en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Emisiones de transporte terrestre nivel 1.

Emisiones de transporte terrestre nivel 1 (kg)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	1516663.42	79.82	79.82
Gasolina	170870.27	61.64	19.73
GLP	45878.69	45.08	0.15

El total de tCO₂-eq de GEI para el transporte terrestre con la metodología del nivel 1 se obtuvo mediante los PCM del Cuadro 8 y la Ecuación 5, usando el resultado de las emisiones de la Ecuación 4, la suma de las emisiones de los combustibles (diesel, gasolina y GLP) fue de 1768.24 tCO₂-eq, en el Cuadro 21 se muestran los resultados para cada tipo de combustible usado.

Cuadro 21. Emisiones en tCO₂-eq en transporte terrestre nivel 1.

Emisiones ton CO ₂ -eq	
Combustible	ton CO ₂ -eq
Diesel	1543.09
Gasolina	178.28
GLP	46.87
Total	1768.24

Para la obtención de las emisiones con la metodología del nivel 2, se realizó la sumatoria de km recorridos por cada tipo vehículo que usan el mismo combustible, debido a que los factores de emisión están en función de la distancia recorrida, las distancias se muestran en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Distancia anual recorrida de transporte terrestre.

Distancia anual recorrida de transporte terrestre (km)	
Combustible	km
Diesel	1453159.80
Gasolina	291280.80
GLP	59766

Los resultados de las emisiones de transporte terrestre con la metodología del nivel 2, se obtuvieron mediante la Ecuación 6 y con los factores de emisión del Cuadro 9 que corresponden a los vehículos de uso pesado, para CH₄ y N₂O en condiciones de arranque en caliente y en marcha, debido a la falta de factores de emisión para el CO₂, a este nivel se aplicaron los mismos factores del nivel 1, los resultados de las emisiones de los GEI se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Emisiones de transporte terrestre nivel 2.

Emisiones de transporte terrestre nivel 2 (kg)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	1516663.42	5.81	4.36
Gasolina	170870.27	32.33	16.02
GLP	45878.69	1.43	0.30

El total de tCO₂-eq de GEI para el transporte terrestre con la metodología del nivel 2 se obtuvo mediante los PCM y la Ecuación 5, usando el valor de emisión de la Ecuación 4 para el CO₂ y la Ecuación 6 para el CH₄ y N₂O. La suma de las emisiones de los tres combustibles fue de 1740.65 tCO₂-eq, en el Cuadro 24 se muestran los resultados de las emisiones de GEI para cada tipo de combustible usado.

Cuadro 24. Total de CO₂-eq en transporte terrestre nivel 2.

Emisiones ton CO ₂ -eq	
Combustible	ton CO ₂ -eq
Diesel	1518.14
Gasolina	176.52
GLP	46.00
Total	1740.65

5.1.2 Transporte aéreo.

La información proporcionada para la obtención de resultados de emisiones en el transporte aéreo, permitió realizar los cálculos con las metodologías del nivel 1 y 2, en total se realizaron 55 vuelos nacionales y 6 internacionales, usando un avión tipo Boeing 737-400 para todos los vuelos, por ser la aeronave más usada por las aerolíneas entre México y Estados Unidos de Norteamérica.

Con la metodología del nivel 1 se obtuvieron primero las distancias entre aeropuertos y el consumo de combustible de cada vuelo obtenido de la base de datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente EMEP/EEA 2009, los resultados se muestran en el Cuadro 25 los vuelos nacionales y en el Cuadro 26 los vuelos internacionales, se muestra solo una ruta ya que se recorre la misma distancia entre origen y destino, por lo que un vuelo con origen Guadalajara y destino México es lo mismo que un vuelo con origen México y destino Guadalajara.

Con el método de nivel 1 se calcularon las emisiones procedentes de las actividades aeronáuticas, mediante el consumo total de combustible, en unidades de masa (kg) que se muestran en los Cuadros 25 y 26, los cuales se multiplicaron por el VCN de 44.1 TJ/Gg (queroseno), para la conversión a unidades de energía, los valores se muestran en el Cuadro 27, para cada tipo de vuelo (nacional e internacional).

Cuadro 25. Distancia y combustible de vuelos nacionales.

Distancia y combustible de vuelos nacionales				
Cantidad de vuelos	Origen y destino	Destino y origen	Distancia (mn) por viaje	Combustible (kg) por viaje
4	Guadalajara	México	252.23	2280.02
5	Hermosillo	México	878.80	5651.87
3	Hermosillo	Monterrey	611.21	4212.23
2	León	Tijuana	1045.45	6564.87
3	México	Monterrey	382.50	2980.78
8	México	Poza Rica	134.03	1651.15
2	México	Tampico	186.50	1930.27
7	México	Tijuana	1249.70	7743.44
19	Monterrey	Querétaro	305.87	2568.59
2	Querétaro	Hermosillo	776.83	5104.41

Cuadro 26. Distancia y combustible de vuelos internacionales.

Distancia y combustible de vuelos internacionales.				
Cantidad de vuelos	Origen y destino	Destino y origen	Distancia mn por viaje	Combustible kg por viaje
2	Houston	México	669.09	4524.25
2	Houston	Querétaro	629.70	4311.93
2	México	Miami	1114.46	6963.07

Cuadro 27. Consumo de combustible de transporte aéreo nivel 1.

Consumo de combustible	
Vuelo	Consumo (TJ)
Nacional	8.92
Internacional	1.39

Las emisiones de los GEI directos con la metodología del nivel 1, se obtuvieron con la Ecuación 7 y los factores de emisión mostrados en el Cuadro 12, los resultados de los vuelos nacionales e internacionales se muestran en el Cuadro 28, desglosando cada GEI.

Cuadro 28. Emisiones de transporte aéreo nivel 1.

Emisiones de transporte aéreo nivel 1 (kg)			
Vuelo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Nacional	638115.59	4.46	17.85
Internacional	99634.76	0.70	2.79

Los resultados de las emisiones totales en unidades de CO₂-eq, fueron obtenidas por medio de la Ecuación 5, y los resultados se muestran en el Cuadro 29 para los vuelos nacionales e internacionales totales, pero dadas las condiciones corporativas, solo una persona de la empresa realizó cada vuelo tanto nacional como internacional, por lo que considerando que el promedio de pasajeros en cada vuelo fue de 124 y usando la Ecuación 8 el resultado corporativo, fue de 6.00 tCO₂-eq para todos los vuelos aéreos con la metodología del nivel 1, el desglose de estos resultados se muestran en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Emisiones en ton CO₂-eq de transporte aéreo nivel 1.

Emisiones en ton CO ₂ -eq	
Vuelo	ton CO ₂ -eq
Nacional	643.74
Internacional	100.51
Total	744.26
Total corporativa	6.00

Para el cálculo de las emisiones con la metodología del nivel 2, el consumo de combustible para las dos etapas de vuelo se obtuvo mediante la Ecuación 12 para

la etapa crucero y con la Ecuación 13 para la etapa LTO, los resultados se muestra en el Cuadro 30, desglosando las dos etapas de vuelo y haciendo la distinción entre los vuelos nacionales e internacionales.

Cuadro 30. Consumo de combustible de transporte aéreo nivel 2.

Consumo de combustible de transporte aéreo nivel 2 (kg)			
Vuelo	LTO	Crucero	Total
Nacional	45375	156999	202374
Internacional	4950	26648.49	31598.49

Las emisiones de la etapa LTO se obtuvieron mediante la Ecuación 10, tomando en cuenta los factores de emisión del Cuadro 13, los resultados se muestran en el Cuadro 31, por tipo de GEI y vuelo.

Cuadro 31. Emisiones en LTO.

Emisiones en LTO (kg)			
Tipo de vuelo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Nacional	143000	5.5	5.5
Internacional	15600	0.6	0.6

Los resultados de las emisiones de la etapa de crucero se obtuvieron con el uso de la Ecuación 11 y los factores de emisiones en términos de consumo de combustible del Cuadro 14, para un avión con las mismas condiciones que en la etapa LTO, los resultados desglosados por tipo de vuelo se muestran en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Emisiones en crucero.

Emisiones en crucero (kg)		
Tipo de vuelo	CO ₂	N ₂ O
Nacional	494547	15.70
Internacional	83943	2.66

Los resultados de las emisiones en unidades de CO₂-eq con la metodología de nivel 2, se obtuvo mediante el uso de la Ecuación 5, en el caso de la etapa de crucero no se obtuvieron emisiones de CH₄, considerando el promedio de pasajeros y la ocupación del personal igual que en el nivel 1, el resultado corporativo fue de 6.01 tCO₂-eq con el nivel 2, el desglose de estos resultados se muestran en el Cuadro 33.

Cuadro 33. Emisiones en ton CO₂-eq de transporte aéreo nivel 2.

Emisiones en ton CO ₂ -eq	
Vuelo	ton CO ₂ -eq
Nacional	644.23
Internacional	100.57
Total	744.8
Total corporativa	6.01

5.1.3 Transporte ferroviario.

Con la información proporcionada por la empresa y la falta de factores de emisión para el país solo se logró realizar el cálculo con el nivel 1, debido también a la falta de acceso a información en la zona fronteriza norte del país, la distancia de las unidades usadas desde el origen no es posible, por lo que este cálculo se realizó solo desde la escala en la frontera de Piedras Negras y Nuevo Laredo, teniendo como destino Querétaro. Los resultados de la distancia se obtuvieron en la página de la empresa prestadora del servicio dado que tiene las rutas definidas desde la zona norte del país hasta la empresa de estudio, el consumo de combustible se obtuvo mediante la Ecuación 15, los resultados se muestran en el Cuadro 34.

Al igual que en el transporte terrestre la cantidad de combustible se dejó en unidades de volumen (L), por lo cual se usó la conversión de unidades de volumen a unidades de masa, mediante la Ecuación 2 y con la Ecuación 3 y el uso del VCN

del Cuadro 6, usando diesel como combustible, para expresar el combustible utilizado en unidad de energía (TJ), los resultados del consumo de combustible en unidades de volumen y energía se muestran en el Cuadro 35.

Cuadro 34. Distancia y consumo de combustible en transporte ferroviario.

Distancia y consumo de combustible en transporte ferroviario					
Unidades anuales	Toneladas de carga	Escala	Destino	Distancia (km)	Consumo de combustible (L)
120	15600	Piedras Negras	Querétaro	1642.70	124799.20
247	32110	Nuevo. Laredo	Querétaro	1176.80	184022.92

Cuadro 35. Consumo de combustibles.

Consumo de combustibles		
Combustible	Consumo (L)	Consumo (TJ)
Diesel	308822.13	11.29

Las emisiones procedentes de estas actividades del transporte ferroviario se obtuvieron con la Ecuación 14 y los factores de emisión del Cuadro 16, los resultados se muestran en el Cuadro 36, los cuales son de un consumo promedio de 0.35 litros por hp-hr (caballos de fuerza-hora) para una locomotora de 4000 hp.

Cuadro 36. Emisiones de transporte ferroviario nivel 1.

Emisiones de transporte ferroviario nivel 1 (kg)			
Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	836399.95	46.84	322.82

El total de tCO₂-eq se calculó con la Ecuación 5, usando las emisiones del Cuadro 36, obteniendo un resultado para el nivel 1 de 937.46 tCO₂-eq, y no fue posible la obtención con el nivel 2.

5.1.4 Transporte marítimo.

Para este tipo de transporte la falta de factores de emisión para el país solo permite el cálculo con el nivel 1, el cual no fue posible realizar, debido a la falta de información y acceso a la ruta comercial ya que son muy variables los trayectos internacionales realizados entre México, Europa y Asia, por lo que no se logró obtener el consumo de combustible, y por lo tanto no se obtuvieron resultados de emisiones de GEI.

5.2 Resultados por alcance y nivel

En el resultado del inventario para las emisiones del transporte, se consideraron las obtenidas con la metodología del nivel 2 para el transporte aéreo y terrestre y con la metodología del nivel 1 para el transporte ferroviario, debido a que no se pudieron obtener resultados con la metodología del nivel 2, en la Figura 14 se muestran los resultados de las emisiones por nivel metodológico y alcance.

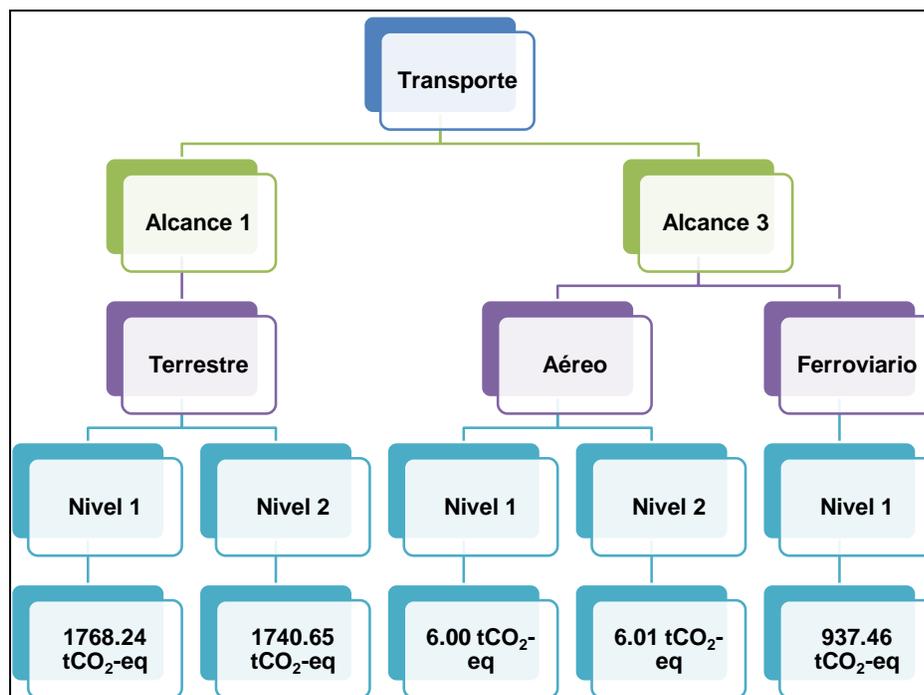


Figura 14. Resultados del inventario de emisiones.

El valor total del inventario de emisiones fue de 2684.11 tCO₂-eq, de las cuales 1740.65 tCO₂-eq son de alcance 1 correspondientes al transporte terrestre y 943.46 tCO₂-eq son de alcance 3 del transporte aéreo y ferroviario, representando así un 64.85% para el alcance de emisiones directas y 35.15% de emisiones indirectas.

5.3 Huella de carbono.

Las emisiones producidas en un año en la empresa fueron 2684.11 tCO₂-eq y como opción de mitigación para estas se podría utilizar la absorción de 67.10 Ha, de una estructura encino-pino con edades de individuos entre 5-10 años, de las cuales 43.51 Ha corresponden a la absorción del transporte terrestre, y 0.15 Ha para el transporte aéreo y 23.43 para transporte ferroviario como alcances 3.

Sin embargo por la falta de datos en el sector de transporte marítimo, no se logró obtener el cálculo total del transporte, por lo que la huella de carbono de la empresa solo fue posible en tres de los cuatro tipos de transporte, y para el transporte ferroviario no fue posible obtener las emisiones de la ruta completa. En la Figura 18 se muestra el porcentaje de emisión cada tipo de transporte y las hectáreas de terreno forestal para absorber esas emisiones.

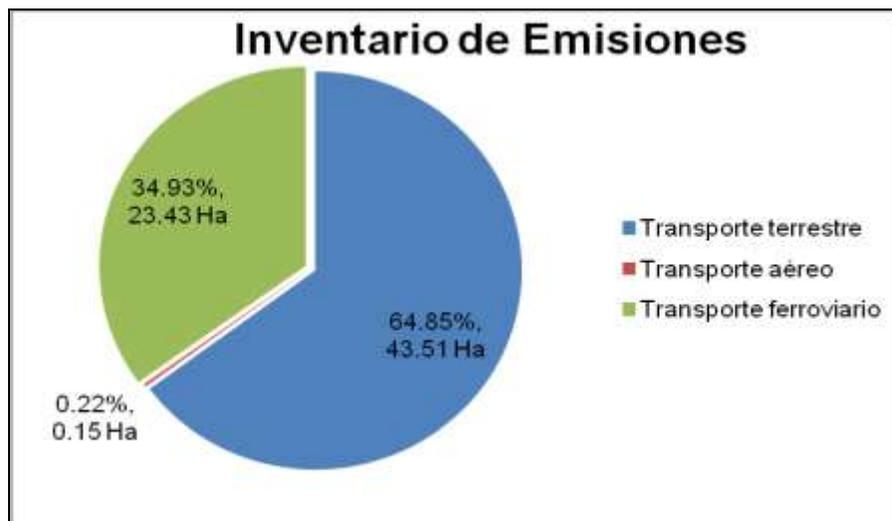


Figura 15. Porcentaje de emisión de los diferentes tipos de transporte.

5.3.1 Calculadoras de huella de carbono.

Las calculadoras usadas solo enfatizan los gastos de consumo de combustible en el transporte aéreo y terrestre, y no se encontraron calculadoras que consideraran el transporte ferroviario de mercancía.

Se consultaron cinco calculadoras en internet dos con factores para el país y tres de países distintos, las cuales se describen a continuación:

- Calculadora mexicana: solo obtiene datos individuales o domésticos.
- Carbon footprint[®]: cuenta con adaptaciones para el país y se pueden obtener datos tanto corporativos como individuales.
- E-CO₂[®]: usa factores del IPCC y los adapta solo a España.
- Ecopetrol: no cuenta con información de factores de emisión que usa.
- Reduce tu huella: pero adaptada solo para Chile.

La mayoría de las calculadoras expresan la huella de carbono en tCO₂-eq, y no expresan el terreno equivalente que sería necesario tener para absorber las emisiones de GEI, las calculadoras están dirigidas a nivel doméstico y a determinar cómo cada individuo aporta a la generación de GEI, por lo que la comparación se realizó con el inventario de emisiones no con la huella de carbono.

Cuatro de las cinco calculadoras mostraron los resultados como en el inventario de GEI, solo la “Calculadora mexicana” mostró diferentes unidades siendo éstas, toneladas métricas de carbono, pero para fines del estudio se consideraron similares a las tCO₂-eq.

Las comparaciones de los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 37, indicando que el cálculo de estudio está en unidades de hectáreas de terreno forestal y la comparación con las unidades ton CO₂-eq, se refieren al inventario de emisiones.

Cuadro 37. Resultados de las diferentes calculadoras de HC.

Resultados de las diferentes calculadoras de HC			
Nombre de la calculadora	Transporte terrestre	Transporte aéreo	Transporte ferroviario
HC del caso de estudio (Ha de terreno forestal)	43.51	0.15	23.43
HC del caso de estudio (ton CO ₂ -eq)	1740.65	6.01	937.46
Calculadora mexicana (tC)	1280.618	72.12	No permite obtener resultados
Carbon footprint [©] (tCO ₂ -eq)	1883.1	11.31	28.563
E-CO ₂ [©] (tCO ₂ -eq)	1770.06	6.92	27.19 factores españoles
Ecopetrol (tCO ₂ -eq)	1171580.94	26.11	No permite obtener resultados
Reduce tu huella (tCO ₂ -eq)	61.635 solo para diesel	Solo vuelos nacionales	No permite obtener resultados

En el caso del transporte terrestre todas las calculadoras mostraron resultados, pero considerando vehículos pequeños, como lo son distintas clases de automóviles y camionetas considerados vehículos ligeros y los usados en el inventario son considerados vehículos pesados para carga, la calculadora de reduce tu huella solo mostró las emisiones procedentes por uso de vehículos a diesel, en el caso de “Ecopetrol” el resultado es muy alto comparado con las otras calculadoras, la calculadora mexicana reveló una diferencia con el inventario mayor a 400 ton y con el resultado de “Carbon footprint[©]” varia por más de 1600 ton y el de “E-CO₂[©]” por más de 30 ton, en la Figura 15 se muestran las comparaciones.

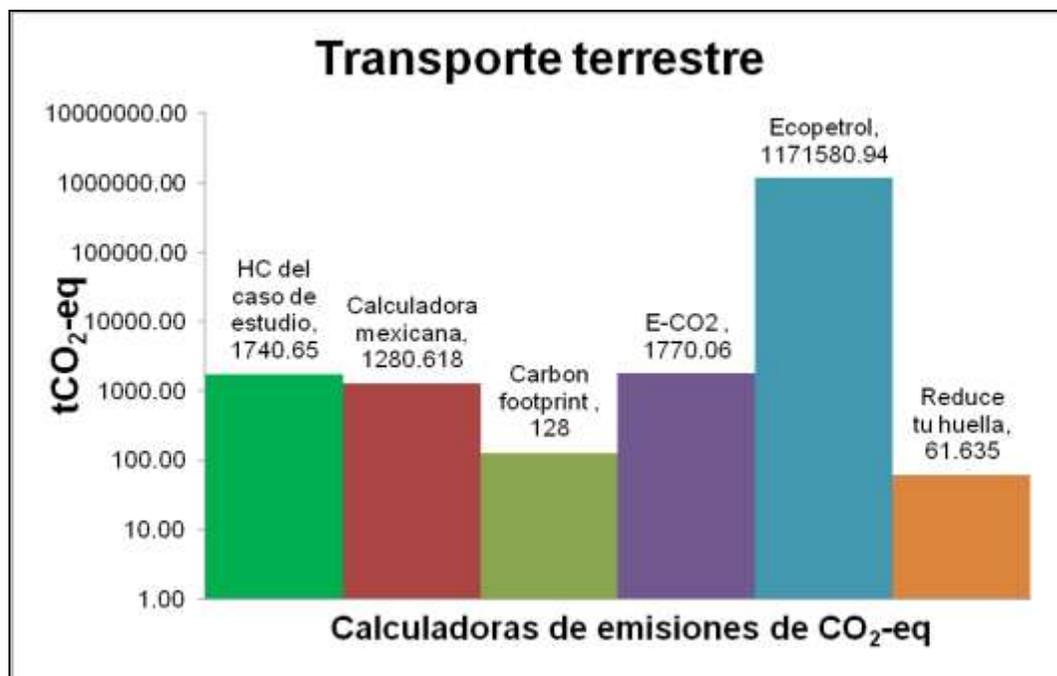


Figura 16. Comparaciones de transporte terrestre.

Para el caso del transporte aéreo la empresa realizó vuelos no de carga sino comerciales, por lo que el inventario de emisiones realizado es adecuado para compararlo con las calculadoras, así que con la “Calculadora mexicana” se mostró un valor de diferencia de más de 66 ton y con “Ecopetrol” varia por más de 20 ton, para la de “Carbon footprint[®]” la diferencia es mayor de 5 ton, y en “E-CO₂[®]” la diferencia es menor de 1 ton, la calculadora de “Reduce tu huella” solo permite el cálculo de vuelos nacionales en Chile por lo que no se obtuvieron resultados para comparar, en la Figura 16 se muestran las comparaciones el transporte aéreo.

En el transporte ferroviario solo se obtuvieron dos resultados en “Carbon footprint[®]” y en “E-CO₂[®]”, ambos resultados son menores de 30 ton y con una diferencia entre el inventario y estas calculadoras de más de 900 ton debido a que el cálculo en éstas se hace considerando que el transporte fue de pasajeros, y en “E-CO₂[®]” se mezcla el tren con el metro y se usan factores de emisión en España, y para el caso de este estudio solo es transporte de carga usando factores de emisión nacionales, por lo que el inventario de emisiones realizado no resulta ser totalmente

adecuado para compararlo con las calculadoras En la Figura 17, se muestran los resultados de las comparaciones en el transporte ferroviario.

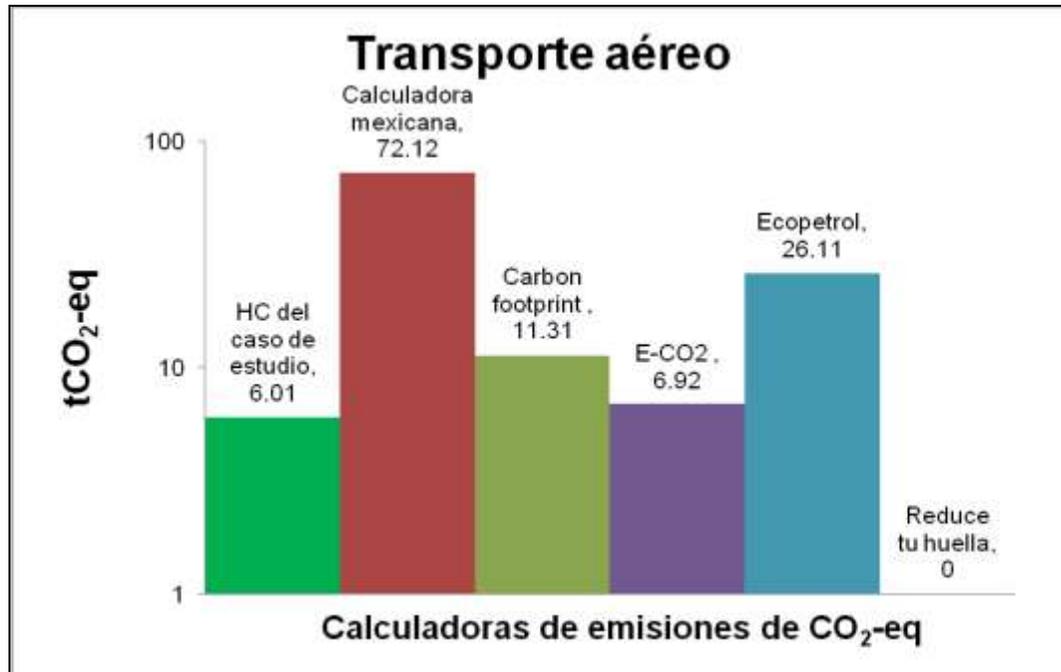


Figura 17. Comparaciones de transporte aéreo.

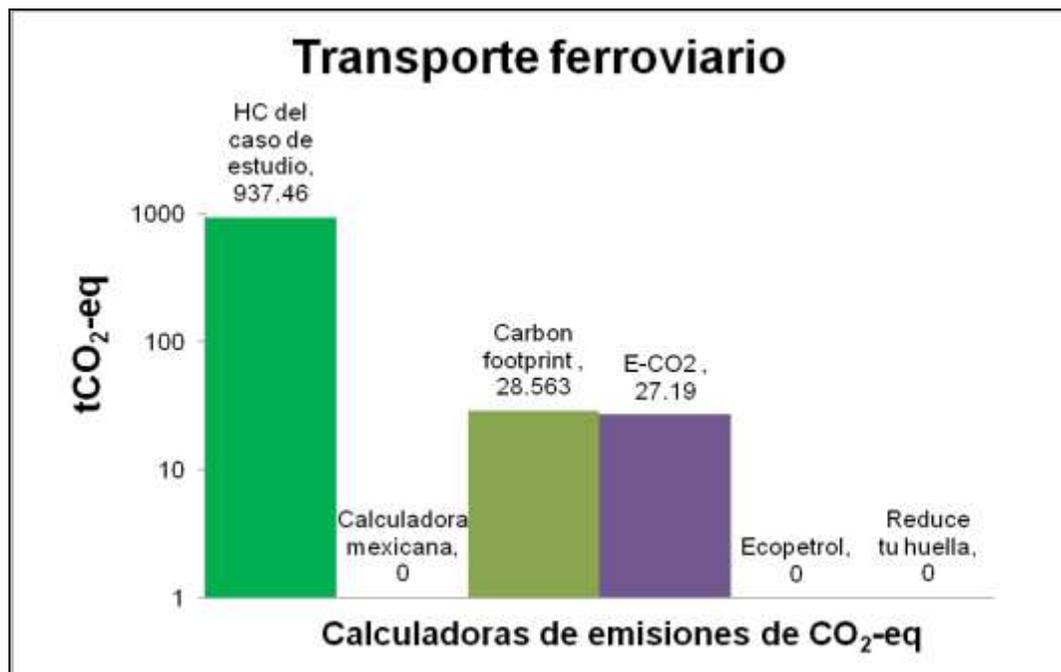


Figura 18. Comparaciones de transporte ferroviario.

6 DISCUSIÓN.

Los tipos de transporte usados para la realización de las actividades de distribución de la empresa fueron cuatro de los cuales son transporte terrestre, aéreo, ferroviario y marítimo, de los cuales solo el transporte terrestre tiene un alcance directo por ser propietaria la empresa de las unidades, de los otros tres tipos de transporte el alcance por la empresa es indirecto dado que no es propietaria de las unidades de transporte.

Para el transporte terrestre también se realizaron los cálculos con dos metodologías, en la de nivel 1 se consideró solo el consumo de combustibles, y en el nivel 2 la distancia anual recorrida por cada tipo de vehículo y combustible, el factor de emisión para el CO₂ se conservo igual en las dos metodologías, cambiando solo los valores de CH₄ y N₂O en los dos niveles.

Los valores totales obtenidos por las dos metodologías difieren en 27.5 ton, siendo mayor el resultado en el nivel 1 para los tres tipos de combustibles usados (diesel, gasolina, GLP). A pesar del uso de los mismos factores para el CO₂, y el valor más confiable es el del nivel 2, debido a que se consideraron las características de los vehículos y la distancia que recorrieron, datos que la empresa pudo proporcionar con un alto grado de referencia.

El transporte terrestre contribuyó con el 64.85% de las emisiones, lo que indica que más de la mitad de las emisiones se produjeron por el uso de vehículos terrestres, considerando que se usaron diferentes tipos de vehículos y combustibles, el uso de vehículos que usan gasolina representan un 6.54% del total de las emisiones, los montacargas con uso de GLP emitieron el 1.75% del total y los vehículos a diesel emitieron el 57.49% del total de las emisiones.

El transporte aéreo para el inventario de emisiones se realizó a dos niveles y sus resultados varían por muy poco, tan solo 4 kg de diferencia, siendo mayor el valor

obtenido con la metodología del nivel 2, considerando que los cálculos difieren, dado que mientras en el nivel 1 se considera el consumo de combustible en una sola etapa, en el nivel 2 se hace la distinción entre las dos etapas de vuelo.

El transporte aéreo representó un 0.22% del total de las emisiones, a pesar de que se realizaron varios viajes nacionales e internacionales, pero dado que solo una persona de la empresa viajó en cada vuelo, y éstos en su mayoría se abordaron por personas ajenas a la corporación, el consumo de combustible quedó en términos corporativos muy pequeño.

Las emisiones procedentes del transporte ferroviario debido a la falta de factores de emisión para el país, solo fue posible obtenerlas mediante la metodología más básica del nivel 1, pero el cálculo no se pudo realizar en toda la ruta debido a que en la zona fronteriza norte del país no se tuvo acceso a información de distancia recorrida ni de los valores de combustible del vehículo ferroviario, por lo que el cálculo se realizó sólo desde la escala hasta el origen del trayecto, con los valores de combustible promedio que la empresa prestadora de servicios ferroviarios proporcionó para el año 2010, en el que las actividades se realizaron, el valor total obtenido fue de 937.46 tCO₂-eq, el cual es mayor que en el transporte aéreo y menor que en el transporte terrestre, y representa el 34.93% del total de las emisiones, considerando que los trayectos se realizaron en condiciones promedio tanto en uso de combustible como en capacidad de carga con un máximo de 130 ton por cada unidad.

En el caso del transporte marítimo no se lograron obtener resultados por falta de información, ya que los trayectos realizados fueron internacionales y las embarcaciones llegaron por el océano pacífico y el atlántico, pero no se proporcionó la información de los puertos de los cuales salieron, ni tipo de embarcación, por lo que no fue posible obtener resultado alguno, ni de distancias ni de consumo de combustible, a pesar de que la empresa tiene un límite

organizacional de control operacional, pero su límite operacional ubica al transporte marítimo en un alcance 3.

La huella de carbono obtenida fue de 67.10 Ha, de una estructura encino-pino con individuos entre 5-10 años, esta cantidad no representa la única opción, ya que el factor de absorción fue tomado de la región, solo como una referencia del programa de “Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en ecosistemas de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, en la región del estado de Querétaro” (Manzano, 2008).

Al realizar las comparaciones de la huella de carbono entre las diferentes calculadoras, ésta se hizo con el inventario de emisiones no con la huella de carbono obtenida, debido a que las calculadoras no dan el resultado como hectáreas de terreno forestal, sino como tCO₂-eq y cabe resaltar que las calculadoras consultadas están diseñadas principalmente para cálculos domésticos no para cálculos corporativos.

Para el transporte terrestre en las cinco calculadoras fue posible obtener resultados excepto en la calculadora de “Reduciendo tu huella” donde solo fue posible obtener el resultado de los vehículos por uso de diesel, al ser calculadoras de uso doméstico solo permiten el cálculo de emisiones provenientes de vehículos ligeros, pero también solicitan el rendimiento de combustible, por lo que es posible obtener datos comparables con el inventario, el cual solo considera vehículos pesados.

En el caso de “Calculadora mexicana” y “Ecopetrol” ambas calculadoras al no informar el origen de los factores de emisión resultan no confiables, y con los resultados muestran grandes diferencias principalmente en el transporte terrestre, debido quizá a que estas contemplan la huella dejada en la manufactura del auto, o en el transporte del hierro y del acero que fue necesario transportar y usar para

construir el auto, pero dado que no lo mencionan en su forma de cálculo, no es posible establecer la veracidad de los resultados.

Para los cálculos del transporte aéreo la empresa realizó vuelos no de carga sino comerciales, por lo que la comparación se puede realizar por las características de uso similares. Los resultados obtenidos en las calculadoras fueron muy variados debido a la solicitud de datos, ya que la “Calculadora mexicana” y “Ecopetrol” piden el número de vuelos y no informan el origen de los factores de emisión, por otro lado en la calculadora de “Carbon footprint[®]” y “E-CO₂[®]” solicitan la distancia de los vuelos y muestran factores de emisión del IPCC como los que se usaron para la elaboración del inventario por lo que los resultados son mas similares.

En el transporte ferroviario no se logró obtener resultados que puedan ser comparables debido a que en las calculadoras consultadas para este tipo de transporte mezclan emisiones de tren y metro para transporte de personas no para carga.

Las calculadoras que mostraron mayor similitud a los resultados obtenidos con el inventario de emisiones realizado, son la calculadora del “Carbon footprint[®]” pues informa el origen de las factores de emisión y hace una adaptación al país, y la calculadora de “E-CO₂[®]” que a pesar de tener un país de origen en otro continente (España), también usa factores de emisión del IPCC, por lo que la comparación con esta herramienta también es aceptable, solo en el caso del transporte ferroviario los datos obtenidos en las calculadoras no son confiables debido a que los factores de emisión usados no contemplan el uso de carga, y en el inventario realizado se uso el factor de emisión a nivel nacional.

7 CONCLUSIONES.

El cálculo de la huella de carbono mediante el inventario de emisiones de GEI se realizó para una empresa de distribución de productos químicos, que no realiza ningún tipo de transformación en los productos, no genera desperdicios ni consume materiales más allá del consumo de la electricidad y combustibles, solo presta servicios, y tiene un límite organizacional de control operacional.

El inventario de emisiones se realizó solo con las actividades de transporte, de las cuales la empresa proporcionó información de los vehículos y rutas del transporte, aunque para el transporte marítimo la información que proporcionó no fue suficiente para obtener resultados. La mayor contribución de emisiones se presentó en el transporte terrestre con los vehículos de uso pesado que usan diesel como combustible, en este tipo de transporte la empresa proporcionó datos muy detallados acerca de sus vehículos, debido a que son las emisiones directas que generan y se encuentran por lo tanto en el alcance 1, por lo que el resultado es muy confiable.

En el caso del transporte ferroviario no se lograron obtener las emisiones de la ruta desde el destino al origen, solo se obtuvieron las emisiones de la escala al destino, por lo que las emisiones calculadas no se pueden considerar totales debido a que no se conoce el consumo de combustible ni la distancia en el origen hasta la escala, lo que puede representar un valor mayor al transporte terrestre. Sin embargo por el alcance 3 que tiene este tipo de transporte sobre la empresa, es difícil medirlo, ya que no se encuentra controlado por ellos, al igual que el transporte aéreo.

A pesar de la falta de algunos datos como el consumo de combustible en el transporte marítimo y todo el trayecto del transporte ferroviario, se logró inventariar las emisiones de CO₂-eq del sector energético por combustión móvil, elaborando un caso de estudio con una empresa de distribución y permitió obtener una huella de

carbono solo para las actividades realizadas por el transporte y dar información acerca del consumo de combustibles y considerando los factores ambientales como un elemento importante en su toma de decisiones, la empresa puede buscar reducir o neutralizar el valor obtenido de la huella de carbono, para dar un valor agregado y fortalecer su imagen y posicionamiento en un sinnúmero de mercados privilegiados, mostrando su responsabilidad y compromiso con el medio ambiente, además puede reflejar claramente su liderazgo alcanzando la máxima calidad en su manejo y en su relación con el entorno.

Si bien hoy en día existen herramientas para el cálculo de la huella de carbono o mejor dicho para el inventario de emisiones, estas herramientas no son del todo adecuadas para cálculos empresariales, debido a que no consideran los altos volúmenes de combustibles y los factores de emisión de las regiones donde éstas se encuentran, por lo que la adaptación de la metodología del Protocolo de GEI, utilizando los factores de emisión y las guías elaboradas por el IPCC en su versión 2006, permitió y resultó ser muy apta para inventariar las emisiones de GEI para el sector de bienes y servicios, debido a que la adaptación de los factores de emisión del IPCC se realizó también con la variable de peso específico propio del país y la región, ya que el Protocolo de GEI recomienda que a las empresas utilizar valores personalizados debido a que los procesos industriales o la composición de los combustibles utilizados por las empresas pueden variar con el tiempo y la región.

En el inventario realizado se consideraron los sectores que afectan en mayor medida a la empresa y teniendo en cuenta el enfoque de la misma y los alcances, las adaptaciones realizadas en base a los factores de emisión, proporcionaron una herramienta, la cual permite actualizaciones, tanto desde la base de datos de la empresa como de los factores de emisión, ya que en el presente trabajo se muestran las metodologías a los diferentes niveles con los que se puede realizar el inventario, para posteriores estimaciones.

- Alvarez-Rojas L.** La neutralidad de carbono basada en la estrategia de cambio climático y sostenibilidad. San José, Costa Rica: UCI, **2009**: 4-29.
- Benveniste G,** Raugéi M, Bala A; Gazulla C, Fullana-i-Palmer P. Herramientas simplificadas para el cálculo de la huella de carbono. CONAMA [serie en internet] **2010** [consultado 2012 enero 27]; vol.10: Disponible en:<http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/1000000128.pdf>
- Bernstein L,** Bosch P, Canziani O, Chen Z, Christ R, Davidson O, et. al. Cambio climático 2007: Informe de síntesis, [monografía en internet]. Ginebra, Suiza: IPCC, PNUMA Y OMM, **2007** [consultado 2011 diciembre 4]. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Bórquez-N R.** Huella de carbono. ADCMA **2010**; 26: 1-9.
- Carballo A,** Villasante CS. Applying physical input-output tables of energy to estimate the energy ecological footprint of Galicia. Energy, **2008**; 36: 1148-1163.
- Carballo-Penela A,** García-Negro MC, Doménech-Quesada JL. El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella corporativa del carbono (HCC). DELOS **2009**; 2: 1-13.
- Carballo-Penela, A.** Utilidad de la huella ecológica y del carbono en el ámbito de la responsabilidad social corporativa (RSC) y el ecoetiqueta de bienes y servicios. DELOS **2010**; 3: 1-14.
- Carballo-Penela A,** Castromán-Diz JL. Xestión ambiental das cadeas loxísticas: concepto e caso de estudio. Revista galega de economía **2011**; 20: 1-29.
- Carbon Trust.** Carbon footprints in the supply chain: the next step for business. London, UK. The carbon trust, **2006**.
- Churkina GC.** Carbon sequestration in urban ecosystems. Berlin, Germany: R. Lal and B. A., **2012**; 16: 315-330.
- Conde C.** México y el cambio climático global. México: SEMARNAT/UNAM, **2011**: 9-21.
- Costa-Gómez I,** Castro-Corbalán T, García-Cárdenas R, Mesa del Castillo-Navarro ML, Romojaro-Casado MC, Victoria-Jumilla F. La iniciativa de ecoresponsabilidad

agricultura murciana como sumidero de CO₂. Murcia, España: LESSCO₂, **2011**: 1-32.

Cots F, Boglio D. La compra pública local como medida para hacer frente al cambio climático. *Ambienta* **2010**; 90: 104-112.

Doménech-Quesada JL. Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa. *EUMED* **2006**: 1-37.

Doménech-Quesada JL. Huella ecológica y desarrollo sostenible. Madrid, España: AENOR **2007**: 1-30

Doménech-Quesada JL, Carballo-Penela A, Jiménez Herrero L; De la Cruz-Leiva JL. Estándares 2010 de huella de carbono MC3. Autoridad portuaria de Gijón. CONAMA [serie en internet] **2010**[consultado 2012 marzo 8]; vol. 10:2-28. Disponible en: <http://www.jdomenech.com/articulos/artihuella-estandares1110.pdf>

Doménech-Quesada J.L., González-Arenales M. La huella ecológica de las empresas: 4 años de seguimiento en el puerto Guijón. Málaga, España: OI DLES **2008**: 1-21.

Eggleston S, Garnier JY, Mobley D, Mareckova K, Fontelle JP, Joerss KE, et. al. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference manual [monografía en internet] **2000**, [consultado 2011 agosto 22] vol 1:1.62-1.98. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme [monografía en internet]. Japon: IGES, **2006** [consultado 2012 marzo 30], vol.2: 1.24, 3.8-3.74. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

Espí-Rodríguez JA, Sanz-Contreras JL. La huella del carbono en la clasificación ambiental de los proyectos mineros: cobre las Cruces, España. Universidad Politécnica de Madrid **2009**.

Fernández-Taborda OA. Carbono neutral, nuevo imperativo empresarial ante el cambio climático. *AIE* **2010**; 8: 51-55.

Ferromex grupo México, Informe anual 2010, México D.F. Ferrocarril Mexicano, **2010**: 42, 43 y 56.

Fonseca A, Carabias J. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los ecosistemas y la biodiversidad. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Estado de conservación y tendencias de cambio. México: Capital natural de México, **2009**: 23-34.

Galindo LM. La economía del cambio climático. Síntesis. SEMARNAT Y SHCP. México: SEMARNAT, **2009**: 10-64.

González A. Chile, potencia alimentaria ¿está en riesgo por impacto del CO₂?. Sociedad y conocimiento, **2009**: 61-62.

Guerra-Alarcón, L. Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica: CATIE, **2007**: 1-75.

Guevara-Sala, Á. Estudio de herramientas adecuadas para medir las emisiones de gases de efecto invernadero municipales. Ayuntamiento de Granada. España. CONAMA, [serie en internet] **2010**[consultado 2012 marzo 15]; vol. 10:2-30. Disponible en: <http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/1000000279.pdf>

Hammond GP. People, planet and prosperity: The determinants of humanity's environmental footprint. Natural resources forum, **2006**: 27-36.

Herva M, Franco A; Fdez-Carrasco E; Roca E. La huella ecológica de procesos productivos como indicador de sostenibilidad. Ingeniería química medio ambiente, **2008**; 46: 180-186.

Industria petrolera mexicana. Informe de métodos y factores de conversión 2002 [monografía en internet]. México **2002** [consultado 2012 mayo 25]. Disponible en: http://www.ri.pemex.com/files/dcpe/mem03_met.pdf

Mays KL, Shepson PB, Stirm BH; Karion A, Sweeney C; Gurney KR. Aircraft-based measurements of the carbon footprint of Indianapolis. Environmental science and technology **2009**; 43: 7816-7823.

Maldonado-Rayma I. Responsabilidad social corporativa y cambio climático. Guerrero, México: Universidad Autónoma de Guerrero, **2010**: 3-12.

Manzano M, Hernandez J. Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en ecosistemas de la reserva de la Biosfera Sierra Gorda [monografía en internet] **2008** [consultado junio 17]. Disponible en: http://www.katoombagroup.org/~katoomba/documents/events/event19/Captura_y_almacen_de_carbono_MManzano.pdf

Martínez C, Idígoras G. Evaluación de los estudios existentes sobre ciclos de vidas de consumo energético y emisiones de gases efecto invernadero para los sectores lechero, cerealero, oleaginoso y carne bovina así como relevamiento de las preocupaciones y expectativas. Sociedad rural Argentina, **2011**: 3-75.

Mateos-Ansótegui A. Trading en los mercados voluntarios del carbono. CONAMA, [serie en internet] **2010**[consultado 2012 febrero 17]; vol. 10:2-24. Disponible en: <http://www.conama10.es/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=86&id=109&op=view&tipo=C>

Matthews-Scott H, Hendrickson CT, Weber CL. The importance of carbon footprint. Environmental science and technologic, **2008**; 42: 5839–5842.

Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessment. Land use policy, **2004**; 21: 231-246.

Nellemann C, Corcoran E. Dead planet, livind planet. Biodiversity and ecosystem restoration for sustainable development. A rapid response assessment. UNEP/GRID. Kenya, **2010**.

Nerlich B. Low carbon' metals, markets and metaphors: the creation of economic expectations about climate change mitigation. Climatic change, **2012**: 31-51.

OSE. Manual de cálculo y reducción de huella de carbono para actividades de transporte por carretera del Observatorio de la sostenibilidad en España [monografía en internet]. OSE, **2010** [consultado 2012 febrero 24]. Disponible en: http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Recursos/Publicaciones/manual_transporte_final.pdf

Pacheco-Blanco, B. Estrategia para la mejora de la gestión de la información ambiental de los productos de consumo. El ecoetiquetado como nexo entre consumidor, empresa y administración. Universitat Politècnica de València, **2011**: 1-183.

Pandey D, Agrawal M, Pandey JS. Carbon footprint: current methods of estimation. Environ Monit Assess **2011**: 135-160.

Planeta Vivo. Informe 2010: Biodiversidad, biocapacidad y desarrollo, Gland, Suiza: WWF Internacional, **2010**.

Peralta-Echeverría J. Impuestos y subsidios a la huella de carbono. San José, Costa Rica. UCR, **2011**: 1-155.

PNUD. Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. EUA: PNUD, **2007**.

Ranganathan J, Moorcroft D, Koch J, Bhatia P, Smith B, Aksel H, et.al. Protocolo de gases efecto invernadero. Estandar corporativo de contabilidad y reporte. México: WRI/WBCSD/SEMARNAT, **2005**:28-64

Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable- and why they are a key to sustainability. Environmental impact assessment review **1996**; 16: 223-248.

Rongquin, Zhao; Xianjin, Huang; Jiawen, Peng. Carbon footprint of different industrial spaces based on energy consumption in China. Journal of Geographical Sciences **2011**: 285-300.

Röös E, Sundberg C, Hansson PA. Uncertainties in the carbon footprint of food products: a case study on table potatoes. Int J Life Cycle Assess **2010**: 478-488.

Sabogal-Aguilar J, Moreno-Castillo E, Ortega-Guerrero GA. Procesos de certificación de proyectos de captura de gases de efecto invernadero (GEI). En los mercados internacionales de carbono. REDALYC **2009**: 12.3: 7-19.

Samaniego JL. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Santiago de Chile: CEPAL **2009**: 17-140.

Sánchez, T. Evaluación de la vulnerabilidad en zonas industriales. México D.F.: SEMARNAT-INA, **2004**.

Schneider H, Samaniego JL. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Naciones Unidas, **2010**: 1-17.

Solomon S, Qin D, Manning M, Alley RB, Berntsen T, Bindoff NL, et.al. Resumen técnico: Cambios climáticos 2007: Base física de la ciencia. Aportes del grupo de trabajo I al cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos [monografía en internet]. Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press, **2007** [consultado 2012 enero 22]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts-sp.pdf>

Schmidt M. Von der Material und Energieflussanalyse zum Carbon footprint anleihen aus der kostenrechnung. Chemie Ingenieur Technik, **2011**; 83: 1541–1552.

Scotti A. Ciudades resilientes. Les societats urbanes davant la reforma ambiental: visions i propostes al voltant de la sostenibilitat. Barcelona: Grup de Geògrafs per a l'Ecologia Social. Universitat de Barcelona, **2011**: 112-128.

Tortajada, M. Cálculo de la huella ecológica en la comunidad Foral de Navarra, 1999-2003-2007. Seminario la huella ecológica **2007**: 30.

Valderrama-O J, Espíndola C, Quezada R. Huella de carbono, un concepto que no puede estar ausente en cursos de ingeniería y ciencias. Formación universitaria, **2011**; 4.11: 3-12.

Wackernagel, M. Tracking the ecological overshoot of the human economy. Proceedings of the National academy of sciences of the United State of Americas **2002**; 14: 9266–9271.

Wiedmann T, Lenzen M. On the conversión between local and global hectáreas in ecological footprint analisis. Ecological economics **2006**: 20.

Winther M, Rypdal K. Civil and military aviation EMEP/EEA emission inventory Guidebook [monografía en internet]. **2009** [consultado 2012 mayo 5]. Disponible en: www.eea.europa.eu/.../emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009

ANEXO

Transporte terrestre

Cantidad de vehículos propios y rentados para transporte terrestre.	
Tipos de combustibles usados.	
Kilómetros anuales recorridos por vehículo.	
Rendimiento de combustible por tipo de vehículo.	
Litros de combustible usados por cada vehículo.	

Transporte aéreo

Cantidad de vuelos nacionales e internacionales.	
Origen y destino de cada vuelo (Clave de aeropuertos).	
Tipo de aeronave usada.	
Distancias de vuelos.	
Aerolínea usada y número de empleados que viajan en cada vuelo.	

Transporte ferroviario

Cantidad de carrotanques anuales de servicio.	
Tonelas de carga en cada carrotanque.	
km recorridos por cada carrotanque.	
Cantidad y tipo de locomotora usada en cada trayecto por carrotanque.	
Consumo de combustible promedio por cada trayecto de carrotanque.	
Origen y destino de cada carrotanque.	

Transporte marítimo

Cantidad de embarques anuales.	
Origen y destino de cada embarque.	
km recorridos por cada embarque (ruta).	
Tipos de embarcación.	
Volumen de carga.	