UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU PROPUESTA DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS Y PRÁCTICAS AMBIENTALES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN EL CANTÓN DE BELÉN, HEREDIA

Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Tecnologías más limpias.

Presentado por:
María José Arguedas Morales
Natalia Arias Meoño

Heredia, 2018

Hoja del Tribunal Examinador

“Inventario de gases de efecto invernadero y su propuesta de tecnologías limpias y prácticas ambientales para la reducción de emisiones en el cantón de Belén, Heredia”; proyecto de graduación para optar al grado de Licenciatura en Gestión al Ambiental con énfasis en Tecnologías Limpias.

Tribunal Examinador

MSc. Tomás Marino Herrea	Ph.D. Jorge Herrera Murillo
_____	_____
Decano, FCTM	Lector del Trabajo
Ph.D. Sergio Molina Murillo	Lic. Diana Rodríguez Arias
_____	_____
Representante Director, EDECA	Lectora del Trabajo
Ph.D. Sergio Musmanni Sobrado	Bach. María José Arguedas Morales
_____	_____
Director del Trabajo	Postulante

Bach. Natalia Arias Meoño

_____

Postulante

RESUMEN EJECUTIVO

A raíz del aumento del impacto de los fenómenos atmosféricos en los últimos años y al avance de políticas que permiten la sensibilización en la protección al medio ambiente, se han incrementado los esfuerzos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este proyecto no sólo proporciona la cantidad de emisiones generadas en el cantón de Belén, sino que también la cantidad de emisiones que se podrían reducir con la implementación de prácticas ambientales y tecnologías limpias.

Como objetivo de investigación se tiene elaborar un inventario de gases de efecto invernadero para el cantón de Belén, Heredia, que sirva de insumo en la definición de tecnologías limpias y prácticas ambientales según la fuente emisora y además facilite la toma de decisiones a nivel local. Su desarrollo consta de tres secciones, el inventario de emisiones de CO_2e, el potencial de reducción de dichas emisiones y una guía cantonal específica que permita mejorar con el tiempo el cálculo de las mismas.

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero se basó en la guía específica para comunidades del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) del 2012 y los factores de emisión y potenciales de calentamiento global aprobados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN); así como las recomendaciones de estos. El año 2013 se tomó como año base y los resultados principales fueron: Energía (487 512 ton CO_2e/ año), Residuos (87 683 ton CO_2e/ año), Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (31 446 ton CO_2e/ año) y, Procesos industriales y uso de productos (3 539 ton CO_2e/ año).

De acuerdo a los datos obtenidos, se tomaron los sectores de energía y residuos para el cálculo del potencial de reducción por medio de prácticas ambientales y tecnologías limpias; de aplicarlas, el sector energético disminuiría en un 8.81% y residuos en un 60.58%. Comprobándose así la posibilidad de mejorar la contribución del cantón con el medio ambiente y al ser parte de un esfuerzo del Gobierno Local, aumenta la posibilidad de crear condiciones para su ejecución en la comunidad Belemita.

Agradecimientos

Las autoras agradecen y reconocen tanto el apoyo como la colaboración de las siguientes personas:

Al PhD. Sergio Musmanni Sobrado, tutor de este trabajo, por habernos guiado en el desarrollo del proyecto aportando su experiencia en el tema de Cambio Climático.

A la MSc. Vanessa Valerio Hernéndez y a la MSc. Sonia Arguedas Quirós, por habernos hecho parte de la Estrategia de Cambio Climático a Nivel Local.

Al Ph.D. Sergio Molina Murillo, por sus valiosos aportes y observaciones realizadas a este trabajo.

A la Comisión de Cambio Climático y a la Unidad Ambiental de la Municipalidad de Belén, por la iniciativa en incursionar este proyecto y hacernos parte de él.

Y a todos los que colaboraron de una u otra forma con la realización de este proyecto.

Dedicatoria

A la familia y a quienes escogemos como una.

A aquellos que se transforman para crear un mundo mejor.

Índice

1. Introducción 1

1.1 Antecedentes 1

1.1.2 Innovación tecnológica 5

1.2. Justificación 8

1.3. Objetivos 10

2. Marco teórico 11

2.1 Marco político-legal 11

2.2 Teorías y enfoques 17

2.3 Vulnerabilidad y adaptación 20

3. Metodología 23

3.1 Etapa I. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el cantón de Belén 23

3.2 Etapa II. Guía Metodológica de inventarios de emisiones a nivel cantonal. 34

3.3 Etapa III. Propuesta de prácticas ambientales y tecnologías más limpias para la reducción de emisiones. 34

4. Resultados 36

4.1 Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero para el cantón de Belén 36

4.1.1 Recopilación de información secundaria 36

4.1.2 Diseño del inventario 49

4.1.3 Identificación de fuentes emisoras 53

4.2 Propuesta de prácticas ambientales y tecnologías más limpias para la reducción de emisiones 76

4.2.1 Principales fuentes 76

4.2.2 Estrategias para la sensibilización, interpretación y educación del público meta 77

4.2.3 Prácticas ambientales para la reducción de emisiones de los principales sectores 85

4.2.4 Análisis de la reducción de emisiones..... 100
5. Conclusiones y recomendaciones..... 103
5.1 Conclusiones..... 103
5.2 Recomendaciones..... 105
6. Referencias..... 106
7. Anexos..... 120

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados por sector de emisión obtenidos en el Inventario Nacional de Emisiones, 2009. 3
Cuadro 2. Comparación de inventarios de GEI a nivel local y cantonal**.**..... 4
Cuadro 3. Resumen de las principales características de las guías de reporte de emisiones de GEI. 17
Cuadro 4. Proyecciones al 2100 sobre el aumento de temperatura en comparación con el año 1990..... 21
Cuadro 5. Clasificación de alcances según el sector de emisión..... 25
Cuadro 6. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos. 27
Cuadro 7. Clasificación y descripción de las fuentes emisoras. 28
Cuadro 8. Tamaño de muestra para cada estrato seleccionado. 32
Cuadro 9. Información general del cantón y sus distritos. 37
Cuadro 10. Mapeo de actores sociales del cantón de Belén. 44
Cuadro 11. Clasificación de alcances según el sector de emisión..... 50
Cuadro 12. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos. 51
Cuadro 13. Comparación de resultados entre el primer inventario cantonal y el último inventario nacional de emisiones. 59
Cuadro 14. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector en carretera. . 62
Cuadro 15. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector fuentes fijas y área. 65
Cuadro 16. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector generación de electricidad. 65
Cuadro 17. Comparación de emisiones entre inventarios en el sector de Manejo de Residuos..... 66
Cuadro 18. Opciones de sensibilización a nivel cantonal. 78

Cuadro 19. Medios de disposición de aguas residuales. 89
Cuadro 20. Resumen de los vehículos presentes en la lista PAVE. 97
Cuadro 21. Comparación de emisiones totales antes y después de las propuestas. 101
Cuadro 22. Comparación de emisiones por subsector antes y después de las propuestas. 102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos teóricos básicos para el desarrollo del estudio de investigación. 11
Figura 2. Escenario por mes del aumento de temperatura en el Valle central. 22
Figura 3. Aumento de temperatura por regiones. 22
Figura 4. Destino de las personas con edad laboral del cantón.. 38
Figura 5. Problemática ambiental del cantón de Belén. 43
Figura 6. Acciones que realiza la Municipalidad en las diferentes temáticas ambientales. **Fuente:** Modificado con base en Jiménez 2014. 48
Figura 7. Aporte de los estratos dela actividad comercial/institucional en las emisiones de GEI en el cantón de Belén. 54
Figura 8. Caracterísiticas de la muestra en la actividad comercial/institucional del cantón de Belén. 55
Figura 9. Emisiones de gases de efecto invernadero en el cantón de Belén, año 2013. . 56
Figura 10. Emisiones directas e indirectas según el sector de emisión para el cantón de Belén en el año 2013. 57
Figura 11.Emisiones directas e indirectas según el subsector de emisión. 58
Figura 12. Sitios de mayor flujo vehicular del cantón de Belén. 61
Figura 13. Distribución del tránsito en el cantón de Belén por tipo de vehículo. 62
Figura 14. Comportamiento del uso de combustibles en el subsectores de fuentes fijas y de área en el cantón de Belén. 64
Figura 15. Emisiones según el subsector de emisión del sector manejo de residuos. 67
Figura 16. Distribución de tipos de tratamiento de aguas residuales en el cantón de Belén. 67
Figura 17. Distribución de tratamiento y no tratamiento de tratamiento de aguas residuales. 68
Figura 18. Emisiones según el subsector de emisión del sector AFOLU para el cantón de Belén. 69

Figura 19. Tipo de animales encontrados en el cantón de Belén.. 70
Figura 20. Tipo de cultivos encontrados en el cantón de Belén..... 71
Figura 21. Estrategia de reducción paulatina de la importación de HCFC en Costa Rica. **Fuente:** MINAET 2013. 73
Figura 22. Clasificación de SAO utilizadas por los dispositivos instalados en Belén. 74
Figura 23. Evolución de susitución de refrigerantesen virtud del Protocolo de Montreal. **Fuente:** Del Castillo 2012. 75
Figura 24. Diagrama de Pareto con las emisiones del cantón de Belén. 76
Figura 25. Diferencias entre las estaciones de monitoreo ambiental. 82
Figura 26. Variables de un registro. 83
Figura 27. Ejemplos de información que debe ser abordada..... 84
Figura 28. Aprovechamiento del metano. 86
Figura 29. Tipos y derivaciones del compostaje aerobio. 88
Figura 30. Componentes de la demanda vial. 93
Figura 31. SIT vs sistema de transporte actual. 99
Figura 32. Emisiones del inventario vs emisiones del potencial de reducción. 101

LISTA DE ANEXOS

Anexo1. Encuestas diseñadas para las actividades productivas del Cantón……..……...120
Anexo 2. Fórmulas sugeridas e implementadas.....127
Anexo 3. Memorias de cálculo.....133
Anexo 4. Resultados adicionales del capítulo del inventario…….....167
Anexo 5. Guía metodológica de inventarios de emisiones a nivel cantonal….....……170

1. Introducción

En la actualidad la dependencia de combustibles fósiles, el crecimiento desmedido de las industrias, la necesidad de trasladarse grandes distancias, poco control en la contaminación, falta de planificación a largo plazo, entre otros han ocasionado el aumento de la temperatura media de la Tierra y a su vez variaciones en el clima (cambio climático). Manifestándose de manera directa en la intensidad de los desastres naturales, como inundaciones, sequías prolongadas y derrumbes (Echeverría 2011).

Los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo son los países con menores consecuencias directas de este fenómeno, mientras los países en vías de desarrollo han sido los más afectados directamente de los desastres naturales, a pesar de que el aporte al cambio climático es menos significativo; en el caso de Costa Rica se encuentra en este último grupo (García 2016).

Para hacer frente al cambio climático -CC- se han planteado una serie de políticas entorno a tres campos de acción que son la mitigación, la compensación y la adaptación, los cuales son temas fundamentales para elaborar planes de acción y establecer las herramientas a utilizar, es en este punto donde los gobiernos locales deben enfocar sus esfuerzos para planificar a futuro. Por lo tanto se ha de desarrollar un inventario por sector de emisión en una primera fase, luego se analizará el potencial de reducción de emisiones según la aplicación de tecnologías y prácticas ambientales en las principales fuentes de emisión, y por último se elaborará una propuesta con la información recopilada.

1.1 Antecedentes

A nivel latinoamericano, México ha realizado esfuerzos en el tema logrando elaborar informes de los inventarios a escala regional cada dos años. A modo de ejemplo se pueden mencionar los correspondientes a los años 2008 y 2010. En ambos; los sectores que se inventariaron corresponden a los establecidos en el IPCC del 2006. Estos inventarios se utilizan para planificar el uso del suelo y como información técnica para establecer cuáles son los sectores en los cuales se deben tomar medidas (Secretaría del Medio Ambiente 2010, Secretaría del Medio Ambiente 2012).

Una particularidad de estos estudios es la contabilización de las emisiones procedentes del carbono negro, debido a que sus propiedades físicas y químicas contribuyen al calentamiento global al ser tanto de forzamiento negativo como positivo. De igual forma los gases de efecto invernadero considerados fueron el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso.

Asimismo, Chile ha publicado sus inventarios basados en la metodología del IPCC 2000, 2006; para el período comprendido entre 1984 a 2006. El sector energía y transporte terrestre siguen siendo las zonas de priorización en ese país. La metodología para la cuantificación consiste en un balance energético conocido como Consumos Aparentes y en la de Usos Finales, esta última utiliza los registros de consumos presentes en las diferentes instituciones y en la práctica suele dar resultados menores que el primer método, debido a que no considera las posible fugas, entradas o salidas de un proceso que en un balance de materiales se cuantifican (POCH Ambiental 2008).

En el caso de Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional es el encargado de elaborar estos inventarios, las emisiones son clasificadas según el sector y actividades que las genera. Los resultados obtenidos suelen incluirse en un reporte para informar al Gobierno y a la comunidad internacional sobre la situación del país en este aspecto. Dentro de los gases que son evaluados por el Instituto están el CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC y el SF_6 (IMN 2013).

Las publicaciones más recientes han sido en el 2009 y 2015, la primera reporta las emisiones para dos años diferentes que son el 2000 y el 2005, por su parte la segunda publicación hace referencia a las del 2012. En los tres inventarios se realizó una evaluación que permitiera identificar las principales fuentes de emisión; a partir de estas se calculó el aporte de los diferentes sectores, dando como resultado que para los tres años en cuestión las emisiones derivadas de la parte de energía son la de mayor cantidad, esto en consecuencia de la alta dependencia a los combustibles fósiles por el sector transporte. El reporte de las emisiones totales indica un resultado correspondiente a 7 940.5, 8 779.2 y 11 250.20 Gg de CO_2 equivalente respectivamente (Chacón *et al* 2009).

Asimismo se hace la salvedad de que para el 2000 y 2005 la metodología utilizada fue la del IPCC del 2000 y para el inventario del 2012 se utilizó la metodología actualizada en el 2006. A continuación se indican las emisiones totales para los diferentes sectores según estos inventarios:

Cuadro 1. Resultados por sector de emisión obtenidos en el Inventario Nacional de Emisiones, 2009.

Fuente de emisión	**Emisiones de CO_2 equivalente (Gg)**		
	2000	2005	2012
Energía	4 805.60	5 688.60	7 213.83
Procesos industriales	449.8	672.5	980.7
Agricultura	4 608.60	4 603.90	1 119.36
Cambio de uso de la tierra y silvicultura	-3 160.05	-3 506.70	
Desechos	1 236.90	1 320.90	1 864.31
Total	7 940.50	8 779.20	11 250.20

Fuente: Chacón *et al* 2009.

A nivel cantonal los esfuerzos en la cuantificación de emisiones de GEI han sido casi nulos, existiendo en la actualidad tan solo un inventario correspondiente al cantón de San Rafael de Heredia; el cual fue elaborado en conjunto con la Escuela de Ciencias Ambientales, con año base el 2008.

En este trabajo se abarcaron los sectores de energía, aguas residuales, residuos sólidos y el sector agropecuario, la razón de lo anterior se debe a las características propias del cantón, en donde la industria es despreciable. Los datos fueron obtenidos por medios de encuestas a las instituciones pertinentes, adaptando las fórmulas de cálculo a nivel local, se hizo uso de factores de emisión, tanto del IPCC como nacionales, más la incertidumbre mencionada es sólo la del IPCC, debido a que el IMN no reportaba este valor para los suyos (Rodríguez y Rodríguez 2011). En el cuadro 3, se resumen las características de algunos de los inventarios comentados anteriormente, con el fin de hacer una comparación entre ellos.

Cuadro 2. Comparación de inventarios de GEI a nivel local y cantonal**.**

Inventario / Contenido		**Nacional.** (Chacón *et al*. 2009).	San Rafael, Heredia (Rodríguez y Rodríguez 2011).	Distrito Federal, México (Secretaría del Medio Ambiente 2012)
Inclusión de gases	CO_2	X	X	X
	CH_4	X	X	X
	N_2O	X	X	X
	HFCs	X	-	-
	PFCs	X	-	-
	SF_6	-	-	-
	Carbono negro	-	-	X
	CFCs	-	-	-
	CO	X	-	-
	NO_x	X	-	-
	NMVOC	X	-	-
	SO_2	X	-	-
Directriz		IPCC	IPCC	IPCC
Escala		Nacional	Local	Local
Sectores	AFOLU	X	-	-
	IPPU	X	-	X
Sectores	Fuentes fijas	-	-	X
	Fuentes móviles	-	-	X
	Residuos	X	X	X
	Emisiones indirectas	-	-	-
	Energía	X	X	X

En el cuadro anterior se puede apreciar que los gases como el CFCs y el SF_6 no han sido incluidos en los diferentes inventarios, debido al reto a que estos gases son contemplados en el Protocolo de Montreal y son reportados de manera separada a los inventarios de Gases de Efecto Invernadero. Al respecto del carbón negro, solo el inventario de México lo incluye por ser una partícula con efectos negativos sobre la salud humana y poseer un alto potencial de calentamiento global. Para el caso de San Rafael se excluyeron del inventario aquellos sectores de poca presencia, producto de las características rurales de la zona.

El inventario nacional en comparación es el que incluye la mayor cantidad de GEI, no obstante las fuentes fijas y móviles no fueron contabilizadas lo que podría evidenciar una limitante en la recopilación de información confiable.

En los últimos tres años a través del convenio UNA-Municipalidad de Belén, se ha realizado una serie de estudios referentes a: plan de seguridad del agua para el acueducto de Belén; estrategia para mejorar la calidad del agua en la micro cuenca del río Bermúdez y el mejoramiento de la calidad de los vertidos en la micro cuenca del río Quebrada Seca. El primero con el enfoque de producción más limpia y los últimos con el de tecnologías limpias, es importante aclarar que estos estudios se encuentran actualmente en etapa de ejecución.

Es importante considerar la generación de residuos del cantón ya que en los diferentes abordajes de cálculo existen apartados que requieren de la estimación de este aspecto ambiental. En el caso de Belén, se cuenta con un Plan de gestión integral de residuos sólidos, en el cual se ha venido trabajando desde antes del año 2000 y que cuenta con una tasa de generación promedio de 0.67 Kg/hab*día para el sector residencial y para los comercios de 7.22 Kg/comercio*día. Esto significa un total de 21.7 ton para el 2011. Uno de los resultados del Plan es la separación de los residuos recolectados en I) ordinarios, II) valorizables y III) no tradicionales. La relevancia de considerar el Plan dentro del inventario es porque al separar los desechos la Municipalidad evita emitir gases, como el metano, a la atmósfera, reduciendo así su aporte al CC y en las tarifas a pagar por la recolección de residuos (Municipalidad de Belén 2012).

1.1.2 Innovación tecnológica

Como parte de cualquier estrategia es necesario ir más allá del simple hecho de la cuantificación, por lo que se debe formular una propuesta para reducir o mitigar las emisiones. Como parte del proceso de la investigación en cambio climático, se pueden aplicar tanto prácticas como tecnologías dentro de la indagación de los potenciales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el cantón de Belén.

Lo anterior se estipula en el Protocolo de Kioto, en donde se menciona la promoción del desarrollo sostenible al cumplir con los compromisos de cuantificar y reducir las emisiones, para ello se elaborarán políticas y medidas que fomenten la eficiencia energética, investigación y desarrollo de energías renovables, tecnologías de secuestro de emisiones y prácticas racionales; así como el desarrollo limpio, el cual consiste en la reducción de la generación de GEI. Se entiende por reducción de GEI, todas aquellas acciones realizadas por el hombre para disminuir las emisiones generadas por las actividades antropogénicas y que a su vez contribuyan con la mitigación al CC (Asamblea Legislativa 2002, CEDAN e INE 2010).

Hay quienes ven la reducción con las ventajas de incentivar la participación y cooperación de la ciudadanía, introducir patrones de racionales y sustentables de producción y consumo, mejora de la salud, ahorros económicos por eficiencia energética y en procesos, identificación de mejoras estratégicas de desarrollo y la contribución a la disminución de los impactos asociados al CC (WBCSD et al 2001). Por lo que estas variables se definirán en la metodología y en su fase de ejecución dentro de este proyecto de investigación.

En el caso de Costa Rica, se realizó un estudio en el potencial de mitigación de GEI en la gestión de residuos sólidos domésticos, el cual buscó analizar el potencial de mitigación en cada uno de los rellenos sanitarios a los que se da tratamiento a los residuos provenientes del área metropolitana, y a su vez ver su potencial de generación de energía (Janssen 2010).

Las primeras están orientadas a la mitigación y prevención de los impactos; en cambio, las segundas se enfocan en reducir las emisiones en la fuente de generación (calderas, hornos, vehículos, entre otros). Existen diversos conceptos asociados, Iscoa y Eguigure (2013) define las prácticas ambientales como aquellas recomendaciones que permiten prevenir, mitigar, corregir y/o compensar aquellos impactos perjudiciales generados, así como herramientas que permiten la mejora del rendimiento medioambiental.

Por lo tanto, se mencionan las prácticas ambientales como aquellas acciones de tratamiento una vez generada la contaminación, permite reusar los desperdicios como materias primas y por tanto previenen, mitigan, compensan y corrigen los impactos perjudiciales en el ambiente, ocasionados por la generación de GEI. En nuestro país, se han diseñado diversos documentos que promueven las buenas prácticas como el Tribunal Ambiental Administrativo (2010) para áreas rurales y urbanas, y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (2012) para las instituciones.

La gran mayoría de las prácticas sugeridas por las instituciones se orientan más a la parte de reducir en el consumo de materias primas (combustible, energía, refrigerantes), más en términos generales estas se pueden aplicar de acuerdo al área de aplicación de interés, como por ejemplo prevención de emisiones y efectos al aire, uso racional de recursos, manejo de aguas residuales y residuos sólidos; por lo que serán utilizadas en este estudio la generación del cambio de una cultural ambiental, fortalecimiento de iniciativas ya implementadas y la búsqueda de una disminución de la contaminación.

Las tecnologías limpias por su parte, son sistemas que permiten reducir en alguna concentración las emisiones, contribuyen a que se genere un equilibrio entre el desarrollo social, crecimiento económico y a un mejor uso de los recursos naturales; y se han utilizado con el fin de reciclar residuos y generar nuevos productos, implicando así un cambio de productos y de procesos productivos, y también como control de la contaminación al final del proceso de la actividad -como en nuestro caso que se buscarán aquellas que permitan una menor producción de GEI- (Arroyave y Garcés 2007).

Consecuentemente, son de vital importancia en este estudio por la presencia considerable del sector industrial y de pequeños comercios que podrían estar generando la emisión de GEI y que no sólo con las prácticas ambientales disminuirían sus impactos, si no que la implementación de tecnologías como estas permitirían la búsqueda de sistemas más eficientes en el control de la contaminación e incluso una menor producción de esta. Para muchas organizaciones es de vital importancia la innovación asociadas al bajo costo de instalación de operación de los sistemas.

1.2. Justificación

Desde el cambio de milenio se han tenido reportes del aumento en la intensidad de los fenómenos atmosféricos a nivel mundial. Por ejemplo olas de calor, sequías, inundaciones, huracanes y otros que generan la desaparición de islas, aumento en el nivel del mar, incremento de especies vulnerables, poca disponibilidad de servicios básicos -acceso a agua potable y electricidad-, adaptación y producción de alimentos; los cuales se han venido mencionando desde 1997 por el IPCC y aún se continúan reportando según el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/ Banco Mundial en el 2009.

Estas variantes se deben principalmente a que el clima depende de la interacción de múltiples factores, los cuales son cambiantes en el tiempo y espacio; el principal fenómeno que ha presentado las mayores alteraciones es el efecto invernadero por medio del cambio climático, ya que dicho fenómeno ocasiona un aumento paulatino de la temperatura, en donde la conductividad térmica en el límite de la atmósfera es muy baja, retardando así el paso del aire caliente de otras áreas hacia el exterior de la atmósfera y por tanto existe poca pérdida de calor (Magaña citado por Martínez y Fernández 2004, Naciones Unidas 1992; Caballero et al 2007; Rapp 2008).

Como consecuencia a nivel internacional, los países se han organizado para tomar acuerdos con el fin de mitigar, reducir y eliminar los impactos asociados al cambio climático; por ello se formaron agrupaciones como el Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático -IPCC-, el Instituto de Recursos Mundiales -WRI-, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y otras instituciones como el Banco Mundial que no solo aportan conocimiento técnico, si no que apoyan iniciativas en otros países de forma financiera.

Se debe resaltar el Protocolo de Kioto -1998-, como una iniciativa de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, ha dado paso al desarrollo de las anteriores organizaciones, además marca las pautas a seguir para enfrentar este fenómeno en aquellos países firmantes, por medio del inventario de seis gases de efecto invernadero. Costa Rica al ser uno de los países firmantes y al rectificarlo de manera voluntaria, trabaja en la definición de una Estrategia Nacional de Cambio Climático; la cual promociona el desarrollo sostenible, la mitigación y reducción del impacto del cambio climático en el país.

Posteriormente, en el 2006 el gobierno de turno asume el compromiso de compensar las emisiones totales del país por medio de la Iniciativa Paz con la Naturaleza (DE- 33487-MP), luego para el año 2011 salió la norma INTE-12-01-06:2011 con el fin de ejercer acciones de competencia a nivel organizacional en el mercado nacional e internacional. Seguidamente el Programa País Carbono Neutralidad para el 2021 se define en el 2012 y finalmente, se encuentra en proceso la "Ley Marco de Cambio Climático" (MINAET 2009, MINAET 2012, Asamblea Legislativa 2013).

Los anteriores mecanismos abren paso al proceso de investigación en las emisiones de GEI, sin embargo el primer estudio relacionado a escala intermedia fue el Inventario del cantón de San Rafael de Heredia (2011) por medio de la Estrategia de CC a nivel local liderado por la Universidad Nacional (UNA), la cual no sólo establece un inventario de emisiones, sino de captura y remoción, se aportan medidas de mitigación y adaptación acompañados por la sensibilización ambiental: siendo ahora Belén el segundo cantón en adoptar dicha Estrategia.

La Municipalidad de Belén ha decidido trabajar en los temas ambientales durante los últimos años y recientemente estas acciones se han ampliado al tema de CC, debido a la alta vulnerabilidad del cantón señalada por el Plan regulador en este se indica que existen amenazas importantes en diferentes partes de Belén principalmente en zonas con alta densidad de población. Además se suma la expansión de la industria y el comercio a lo largo de todo el cantón y no en un punto específico por lo que al estar mezclada con las viviendas aumentando el impacto sobre los pobladores. Una de las consecuencias es la casi inexistente zona verde y de protección, siendo Belén el cantón con menor área verde del país (Astorga *et al* 2013).

La vulnerabilidad del cantón se ve reflejada no solo por lo anterior o por la inexistencia de estudios referentes a la calidad del aire o de emisiones, sino también en aquellos proyectos que evidencian los riesgos asociados a áreas estratégicas como lo es el recurso hídrico, en donde se ha tenido que trabajar en la calidad y seguridad del agua tanto para cuerpos acuíferos como para acueductos.

Por lo que el problema de investigación recae en la necesidad de conocer la contribución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero del cantón, ya que este presenta un crecimiento significativo en los sectores industrial, comercial, transporte y residencial. El cual podría estar significando un aumento en el aporte de las emisiones y a su vez incrementando la vulnerabilidad de la población belemita.

1.3. Objetivos

General

Elaborar un inventario de gases de efecto invernadero para el cantón de Belén, Heredia, que sirva de insumo en la definición de tecnologías limpias y prácticas ambientales según la fuente emisora y además facilite la toma de decisiones a nivel local.

Específicos

Realizar un inventario de emisiones en el cantón de Belén que permita la identificación y cuantificación de la producción de CO_2e generada por las principales fuentes.

Desarrollar una guía metodológica con los pasos que se deben seguir para la elaboración de un inventario cantonal, con el fin de que puedan ser utilizados en futuras actualizaciones del inventario.

Formular una propuesta general de prácticas ambientales y tecnologías limpias viables para los procesos más importantes del cantón que contribuyan al potencial de reducción.

2. Marco teórico

Este apartado se caracteriza por fundamentar aquellos avances asociados a la generación antropogénica de gases de efecto invernadero, de acuerdo a la siguiente figura, se puede observar del lado izquierdo aquellos condiciones que pueden estar contribuyendo a la emisión de estos gases; al otro lado se toma en cuenta aquellos aspectos que se desean desarrollar en este estudio, a continuación se detallan las bases teóricas que fundamentan la metodología acorde con el inventario cantonal y a su vez, se establecen criterios para la prevención y mitigación ante el CC.

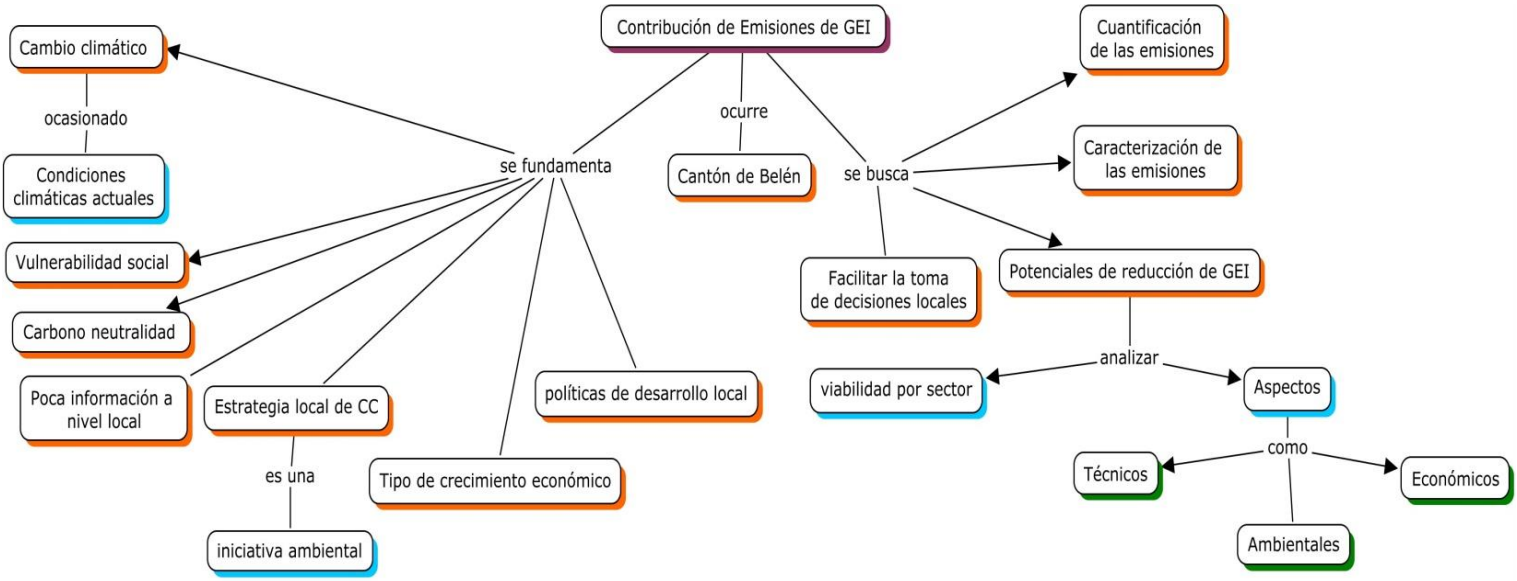

Figura 1. Aspectos teóricos básicos para el desarrollo del estudio de investigación.

2.1 Marco político-legal

La preocupación global sobre la situación del medio ambiente inició 1972 en la Conferencia sobre el medio humano en Estocolmo, pero no fue hasta en 1992 en la Conferencia sobre el medio ambiente y desarrollo en donde se creó la conocida agenda 21.

Según Cubberly (2000), en ella se dedica uno de los capítulos a la protección de la atmósfera, y es aquí donde se le atribuye interés al cambio climático (CC), ya que establece la necesidad de controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otras sustancias asociadas a la producción, transmisión, distribución y consumo de energía.

Asimismo, promociona la búsqueda de energías alternativas como la solar, fotovoltaica, eólica, de biomasa y geotérmica; y la sustitución, producción y recuperación de combustibles. De esta forma es posible cuestionar que si bien se han tomado acuerdos internacionales, la capacidad de cada país y los intereses político-económicos han limitado considerable la obtención de avances significativos en la disminución de la generación de GEI.

Posteriormente, las Naciones Unidas ha creado otras convenciones que fueron aprobadas de forma voluntaria -no vinculante- por Costa Rica, en 1992 la Convención sobre el Cambio Climático -Ley 7414 promulgada en 1994-; en ella se definen conceptos claves y se destaca la implementación de acciones dedicadas a la prevención y reducción de los causantes del CC, elaborar y publicar periódicamente inventarios nacionales de emisiones antropogénicas, y dar reportes de medidas implementadas en las siguientes reuniones.

Años más tarde, se crearon Protocolos asociados como el de Montreal -1997 Ley 7223 para CR en el 2005- en donde se acuerda tomar medidas preventivas para controlar la emisión de sustancias que agotan la capa de ozono. Y finalmente el Protocolo de Kyoto -1998 e incorporado bajo la Ley 8219 año 2002 en CR-, el cual establece la búsqueda del fomento de políticas y medidas que permitan aminorar las emisiones de GEI, la cuantificación de la emisión generada se hará en dióxido de carbono equivalente (CO_2 e) y se elaborará de forma anual por medio de un inventario, las emisiones se clasificarán por fuentes y se estimará la absorción por sumideros; en caso de utilizar los potenciales de calentamiento global (PCG), se usarán los reportados por el IPCC (Asamblea Legislativa 2002, Asamblea Legislativa 2005).

Desde su ratificación a nivel nacional, se asumen los aspectos anteriormente mencionados como aquellas pautas legales básicas para la formulación de inventarios a escala país y además, dio paso a la generación de políticas costarricenses (a raíz del compromiso del gobierno de turno 2006-2010 y 2010-2014) fundamentales para el aseguramiento de esfuerzos ante el CC. Como es el caso del decreto Iniciativa Paz con la Naturaleza (DE-33487-MP), el cual fue el primer paso para que el país ejerciera acciones concretas ante el CC -por medio de la reducción del uso energético y de la emisión de GEI.

Tiempo después (2006), el Gobierno asume el compromiso de compensar las emisiones totales del país de forma tal que se logre la carbono neutralidad para el bicentenario de la independencia de Costa Rica (año 2021), como un medio para cumplir con esta meta, se formuló la Estrategia Nacional -ENCC-bajo la Dirección de CC que tienen como objetivo principal promover el desarrollo sostenible a través de una economía carbono neutral (c-neutral) implicando la mitigación y reducción de los impactos del cambio climático (MINAET 2009).

La ENCC abarca seis ejes estratégicos: adaptación, mitigación, métricas, sensibilización pública, financiamiento y desarrollo tecnológico. Siendo el apartado de métricas aquél que promueve la elaboración de inventarios de emisión, el de desarrollo tecnológico nuestro pilar para la búsqueda de la disminución de la generación de GEI en las diversas fuentes y la sensibilización pública como aquél método de participación civil en la implementación de dichas tecnologías, partícipes en la recopilación de datos para el inventario y como personas conscientes acerca de las consecuencias de sus propias acciones.

Para el último año del periodo 2006-2010, se realizó la Conferencia en Copenhague, esta solicitó los planes a seguir para la reducción de las emisiones de países industrializados y las acciones de mitigación en el caso de los países en desarrollo, como Costa Rica, en los siguientes diez años. Además, manifiesta la implementación del proyecto $REDD^{+}$; sin embargo no hubo un consenso de reducción en la contribución con el CC por parte de los países desarrollados (Averchenkova 2010).

Con el cambio de gobierno costarricense, el Plan de Desarrollo 2010-2014 estableció las metas de ser líder en Latinoamérica en el uso de energías 100% renovables y alcanzar la c-neutralidad en el 2021 por medio de un mercado, de una estrategia nacional de CC, mecanismos de monitoreo de ordenamiento territorial y observación meteorológica, finalmente integrar diversos sectores como el social y económico, y fortalecer el apoyo financiero y técnico (MIDEPLAN 2010).

A finales del 2010, se realiza la Conferencia de la ONU sobre el cambio climático en Cancún, los principales acuerdos tomados fueron: estrategias bajas en carbono y reporte de inventarios anuales por parte de los países industrializados, dar mayor inversión en mecanismos tecnológicos de desarrollo limpio, y finalmente rendir cuentas entre las partes (UNFCCC 2010).

Por ello en el 2012 se publica el Acuerdo 36-2012-MINAET, con el fin de formalizar el Programa País Carbono Neutralidad y brindar una serie de lineamientos para las organizaciones que deseen utilizar la marca C-Neutral o también a nivel de proyectos; éste requiere del pago a organismos verificadores (INTECO y EARTH) acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

Es importante destacar que la elaboración de inventarios según este Programa debe seguir las indicaciones establecidas por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI). De esta manera dirige el inventario de GEI del cantón de Belén a asumir alguna de estas metodologías, sin embargo esto se detalla más adelante. Según el MINAET (2012), se establecen los siguientes gases de efecto invernaderos como aquellos que deberán ser incluidos obligatoriamente en los inventarios: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxidos nitrosos (N_2O), Perfuorocarbonos (PFC), Hidrofluorocarbonos (HFC) y Hexafluoruro de azufe (SF_6).

A raíz de esta guía, se han promovido otras iniciativas voluntarias como el Programa de Bandera Azul Ecológica en las categorías de Cambio Climático, Comunidad Clima Neutral y Hogares desde el 2010 hasta la actualidad, las cuales promueven la cuantificación de la generación de GEI a nivel organizacional hasta a nivel personal, procurando la participación de la ciudadanía en el CC, lo que se manifiesta en la participación de alrededor de 517 comités para la primer categoría y 60 para la última en el año 2014 (BAE 2013, BAE 2014).

Por otro lado la conferencia efectuada en Varsovia 2013, fortaleció el financiamiento de proyectos como el REDD^{+}, adaptación y transferencia tecnológica. A su vez, el día 26 de febrero del 2014, se aprueba en Costa Rica en primer debate proyecto de “Ley Marco de Cambio Climático” que pretende regular las actividades actuales en el marco de adaptación y mitigación dentro del territorio nacional, con el fin de asegurar la producción de alimentos y el desarrollo económico. Además se debe conformar la Comisión Nacional (Conclima), dentro de sus funciones se encuentra la elaboración del Plan Nacional de CC cada dos años, en este se deben crear las líneas bases de cuantificación de las emisiones para todo el país (Asamblea Legislativa 2013, Unfccc 2013).

Así como métodos para la determinación de las emisiones en el sector transporte y además verificar la implementación de medidas eficaces en la adaptación, mitigación y disminución de las emisiones. Además, todo este marco político-legal hace la relación de los compromisos políticos asumidos y han dado paso a la creación de normas tanto obligatorias como voluntarias, las cuales abren los insumos para reporte de las emisiones de GEI tanto a nivel nacional como comunal y organizacional.

En el año 2015, los representantes de doscientos países se reunieron en París y lograron lo que hasta la fecha es un acuerdo histórico debido a dos factores; primero, es vinculante para todas las partes firmantes lo cual implica presentar cada cinco años cuales han sido las contribuciones de cada país para alcanzar el principal objetivo del acuerdo; y segundo, los mayores emisores de GEI en la actualidad (Estados Unidos y China) han firmado su inclusión al acuerdo, representando así un gran avance en la lucha contra el cambio climático (CMCC 2015).

El principal objetivo que buscan las partes, es no permitir que la temperatura mundial suba más de 2°C y preferiblemente que no sea mayor a 1.5°C, a su vez un desarrollo bajo en emisiones mediante la adaptación a los cambios en el ambiente producto del calentamiento global. Como una de las condiciones para llevar a cabo lo anterior el acuerdo de París señala que antes de poder reducir las emisiones se debe alcanzar un tope en la liberación de estos gases, teniendo en cuenta que los países en vías de desarrollo serán los últimos en lograrlo (CMCC 2015).

Cabe señalar la distinción hecha a lo largo del acuerdo, entre los países desarrollados y subdesarrollados, un ejemplo es en las medidas a adoptar, los primeros deben enfocarse en reducir sus emisiones y los segundos en incrementar las medidas de mitigación de forma que a largo plazo puedan implementar gradualmente metas de reducción. Es así como esta diferenciación permite establecer que los más desarrollados invertirán anualmente 100 mil millones anuales en el Fondo verde, en consecuencia los subdesarrollados podrán obtener financiamiento para cumplir con las obligaciones en materia de mitigación y adaptación (CMCC 2015).

En este punto, podemos atrevernos a plantear que muchas de las acciones impulsadas desde niveles locales, han logrado impactar en la opinión de los encargados de firmar el acuerdo de París. Dejando como enseñanza que cada iniciativa entorno al cambio climático en verdad aporta al sistema global de una u otra manera (Araya 2016).

Por lo anterior, el acuerdo alcanzado suma importancia a un inventario cantonal, ya que insta a los interesados que no son partes (sociedad civil, sector privado, ciudades) a implementar medidas para combatir los efectos del cambio climático y hacer públicas todas las acciones referentes a este tema. Por lo tanto el reconocer la relevancia de estas iniciativas permite buscar más apoyo y reconoce el esfuerzo que se ha venido haciendo por muchos sectores de la sociedad, recordando que el poder de actuar no recae únicamente en los gobiernos y autoridades.

2.2 Teorías y enfoques

El estudio acerca de los fenómenos del efecto invernadero y el calentamiento global comenzó en 1896, pero fue hasta 1980 que las investigaciones arrojaron mayores resultados; en 1988 la Organización Mundial Meteorológica y el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas crearon el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático -IPCC-, el cual se ha encargado desde entonces de la predicción del impacto de los gases de efecto invernadero, por medio de investigaciones en las áreas de clima, ecología, oceanografía y otros (Maslin 2004).

A partir de estas primeras investigaciones, del interés de las Naciones Unidas (para tomar acuerdos entre los países interesados y formular tanto metas como acciones a seguir), la creación de organizaciones como el IPCC, el Instituto de Recursos Mundiales -WRI- y el Concejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible -WBCSD-, y al seguir siendo el cambio climático de interés mundial, se ha logrado formular los inventarios de GEI para contabilizar la cantidad de estos gases generados durante un tiempo determinado. Los cuales se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Resumen de las principales características de las guías de reporte de emisiones de GEI.

Organización	Directriz	Año de publicación	Alcance	Categoría de fuentes	Método de cálculo
IPCC	Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC 2006).	2006	Nacional	Energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, desechos y otros.	Datos de actividad (DA) por Factores de emisión (FE) basados en datos de investigación internacional. Uso de modelos. Balance de masa.

Organización	Directriz	Año de publicación	Alcance	Categoría de fuentes	Método de cálculo
WRI	Protocolo Global a escala comunal de emisión de gases de efecto invernadero (WRI 2012).	2012	Escala Intermedia (Cantonal o ciudad)	Fuentes estacionarias, fuentes móviles, residuos y, procesos industriales y uso de productos	DA y FE preferible-mente nacionales. Posibilidad de desarrollar metodologías con mayor exactitud.

De estas metodologías, los inventarios del IPCC incurren en la complejidad del cálculo de las emisiones y para ello esta directriz contempla tres niveles, el primero utiliza variables de estadísticas nacionales o internacionales disponibles -DA-, el segundo y tercero son los más exigentes en términos de los requisitos en los datos y por tanto aseguran una menor incertidumbre en el cálculo. Mientras que el WRI y WBCSD desarrollaron un instrumento para entender cuáles sectores aportan la mayor cantidad de las emisiones a escala comunal (IPCC 2006, Arikan y Desai 2012).

A diferencia del IPCC, el WRI no incluye agricultura, bosques y uso del suelo por tener un enfoque urbano de países desarrollados y sugiere el método del IPCC en caso de ser necesario el cálculo de estas emisiones, definiendo tres alcances. El primero son todas las emisiones directas de GEI de las actividades que tienen lugar en la comunidad, el segundo y tercero contemplan emisiones indirectas, con la diferencia de que el segundo es de inclusión obligatoria y corresponden a consumo de energía, calefacción y/o enfriamiento por la ciudad, en el caso del tercero son todas las demás (Arikan y Desai 2012).

También brinda la opción de hacer dos tipos de reportes, uno enfocado en la identificación y priorización del conteo de emisiones en comunidades únicamente de los alcances 1 y 2 con el fin de evitar el doble conteo, (denominado Perfil de GEI Comunal), y el otro, contribuye con los reportes nacionales a la cuantificación de las emisiones de manera compatible con la guía de inventarios nacionales del IPCC -llamado Reporte de Agregación Nacional- (Arikan y Desai 2012).

Los aspectos en los que estas guías concuerdan son:

- Para realizar la equivalencia a toneladas de CO_2 e se deben utilizar los potenciales de calentamiento global a 100 años.
- Garantizar la coherencia en el tiempo: los inventarios al ser actualizados deben utilizar los mismos métodos y las mismas fuentes de datos.
- El método para el desarrollo de inventarios es principalmente por datos de actividad y factores de emisión, sin embargo se menciona el uso del aporte de las emisiones de las fuentes fijas directas.
- El formato de reporte de los datos es muy similar, con la diferencia en la terminología de niveles a alcances, y la clasificación de las categorías que el IPCC las clasifica de manera más detallada.
- Uso de los principios de contabilidad: la relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión, representan un conteo fiel, certero y preciso.
- Evitar el doble conteo de emisiones, según INTECO (2011) es la cuenta de las mismas emisiones por parte de varios sectores.
- Reporte de la incertidumbre: se debe realizar en forma sólida, ser defendibles científicamente y comprensibles.

Las anteriores directrices reconocidas internacional y nacionalmente, por su criterio técnico de carácter voluntario y de acceso al público, dirigen el cumplimiento del primer objetivo específico de este proyecto; es por esto que la guía de reporte de emisiones del WRI a escala cantonal, abre las puertas a la integración de otros métodos de cálculo de emisiones

Para una mejor comprensión de algunos aspectos mencionados anteriormente por estas directrices, es de vital relevancia comprender las diferencias de las siguientes definiciones, ya que son fundamentales en el reporte de la incertidumbre del inventario. La exactitud y la precisión en la obtención de datos, la primera el IPCC (2006) la define como aquella relación valor real/promedio de observaciones reiteradas de una variable, mientras que Skoog *et al* (2010) la define como que tan cercano es un dato al valor verdadero y es expresada como error, los cuales hacen la misma relación entre ellos sólo que el primero se refiere a un error relativo; y la precisión el IPCC (2006) la da a conocer como la congruencia en las mediciones reiteradas de la misma variable.

El error sistemático o sesgo se encuentra estrictamente asociado a estos ya que se conoce como la falta de exactitud (IPCC 2006), y es un tipo de error. Por tanto el intervalo de confianza según Candia y Caiozzi (2005), IPCC (2006) es el rango en el que existe la probabilidad de encontrar el valor real de una constante desconocida; y finalmente, la incertidumbre, según Ellison *et al* (2000), se asocia a la dispersión de los valores atribuibles a una medición, no se usa para la corrección de los resultados de la medición y se da en términos de un rango, por el contrario del error que es un resultado único que puede corregirse en el resultado y puede ser tanto aleatorio como sistemático. Ruiz *et al* (2010) también hacen esta diferenciación y aconseja utilizar el término de incertidumbre cuando se requiere evaluar la calidad del resultado luego de una serie de mediciones por medio de la propagación de la incertidumbre.

2.3 Vulnerabilidad y adaptación

Si bien es cierto un país como Costa Rica representa un aporte mínimo de emisiones, las consecuencias asociadas al cambio climático son perceptibles en el territorio nacional; es posible hacer la misma comparación de forma local en donde los efectos son aún más identificables y la vulnerabilidad aumenta directamente para la sociedad y sus sectores estratégicos (agua, agricultura, salud, ecosistemas). Por esta razón la información técnica derivada de un inventario debe usarse no solo para mitigar sino también para adaptarse al CC (Quintero-Ángel *et al* 2012).

Una de las razones más importantes en la cuantificación de emisiones, se basa en la posibilidad de crear escenarios futuros, como es el caso de los elaborados por el IMN. Estos indican que para el 2100 la temperatura media habrá aumentado en gran parte del territorio costarricense (ver cuadro 4) ocasionando que en verano las sequías sean más prolongadas debido a la disminución de las precipitaciones; pero en los períodos de invierno las lluvias aumentarían su intensidad amenazando con inundaciones a los sectores más vulnerables (MINAET e INCAE 2012).

Cuadro 4. Proyecciones al 2100 sobre el aumento de temperatura en comparación con el año 1990.

Región	Temperatura (C°)	
	Líneas base	Cambio al 2100
Liberia	27.5	+3.1
Nicoya	27.3	+4.3
Upala	25.4	+4.7
Alajuela	22.9	+4.0
Quepos	26.7	+3.0
Palmar Sur	27.1	+3.5
Limón	25.9	+3.4
Puerto Vargas	25.7	+3.0
Ciudad Quesada	22.9	+3.1

Fuente: MINAET e INCAE 2012.

En el caso del valle central, se prevee que la temperatura aumente hasta más de 3°C despues del 2050, en donde como se aprecia en la Figura 2, para el 2100 alcance los 4°C, antes de esto la temperatura no supera los 2°C demás. En cuanto a las lluvias disminuirían hasta en un 30% su intensidad. Especificamente en la provincia de Heredia, donde se encuentra el cantón de Belén, se espera que el aumento sea similar al valle central y se de en un rango de 3 a 3.1 °C (Figura 3). Estos escenarios a futuro son prónosticos de lo que podría suceder si las emisiones son el doble de lo generado en el año de 1990 (MINAE-IMN s.f, Campos 1999).

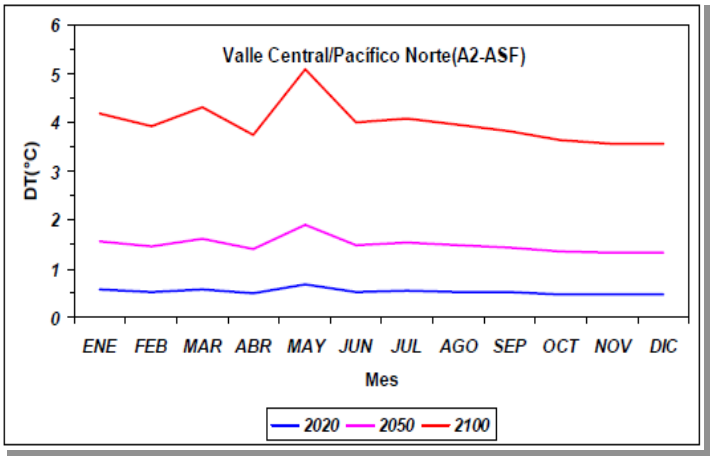

Figura 2. Escenario por mes del aumento de temperatura en el Valle central.

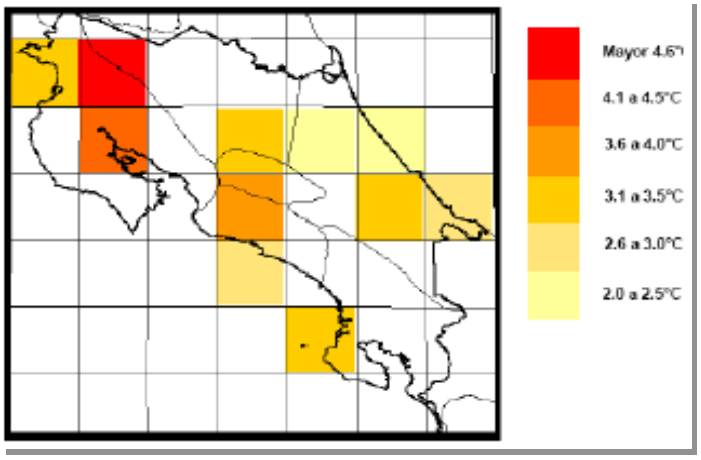

Figura 3. Aumento de temperatura por regiones.

Fuente: MINAE-IMN s.f., MINAET e INCAE 2012.

En consecuencia, cada vez son más las acciones que se toman para enfrentar el CC y plantear una estrategia cantonal, esto como parte de una toma de conciencia por los Gobiernos locales que emprenden el compromiso de elaborar dicha estrategia por lo que cuando se inicia este proceso es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones: I) Establecer los objetivos de acción en cuanto a cambio climático: en donde se refleje el deseo de minimización de los GEI y por ende los riesgos asociados.

Además se debe especificar el lapso de tiempo en que se desean cumplir y las características generales para la elaboración de un inventario –fuentes, limite, clasificaciones, metodología, año base-. II) Fijar cada cuanto se deberá renovar el inventario, según los recursos, características de la zona o legislación nacional. III) Seleccionar alternativas ya sea de compensación, mitigación o adaptación según la información técnica obtenida en el inventario. IV) Reportar los resultados obtenidos y los avances en los objetivos para poder establecer finalmente una estrategia efectiva que represente las características propias del lugar (Monzoni 2010).

3. Metodología

Para la elaboración del proyecto fue necesario realizar cálculos estadísticos y matemáticos que permitieron determinar la emisiones de CO_2 equivalente por tipo de fuente, además se usó cuestionarios y consulta de fuentes secundarias asociadas a los resultados obtenidos y a la información secundaria que fue interpretada y caracterizada cualitativa y cuantitativamente, para la elaboración de la propuesta jerarquizada adaptada a las características propias del cantón. De este modo que el enfoque de la investigación es mixto.

Asimismo, la investigación abarca dos tipos de estudio; exploratoria debido a que es el primer esfuerzo de contabilizar el aporte en las emisiones del cantón, aun así el inventario es un medio para lograr describir los tipos de fuente y el comportamiento de las emisiones, por lo que la recopilación de este tipo de información servirá para plantear una solución que abarque medidas de mitigación de forma que el estudio es igualmente descriptivo; ya que permite explicar en qué condiciones se manifiesta un fenómeno, y cómo se relacionan dos o más variables.

A su vez, como objeto de estudio se seleccionó el cantón de Belén, el cual pertenece a la provincia de Heredia. Para su elección se utilizó el criterio de interés de la Municipalidad de Belén, de trabajar en el tema y del proyecto de investigación-extensión y Estrategias Participativas de Cambio Climático a nivel local de la Escuela de Ciencias Ambientales, de la Universidad Nacional.

A continuación se describe cada una de las etapas del proceso metodológico.

3.1 Etapa I. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el cantón de Belén

Esta etapa comprende las características para la descripción del inventario en el cantón de Belén, Heredia; la cual corresponde al primer objetivo específico de la investigación, así como sus limitaciones encontradas.

Paso 1: Recopilación de información secundaria

Esta sección contiene la información hallada a nivel internacional y nacional, en especial sobre los Convenios ratificados por el país, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, Inventario de Gases Efecto Invernadero Nacional y otros. Así, como la indagación sobre experiencias similares en Inventarios de Emisiones realizados en Costa Rica, mediante el uso de material bibliográfico.

A su vez, se analizaron las características del cantón de Belén, en donde se pudieron identificar de manera general las emisiones potenciales de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la base metodológica del presente trabajo es el Protocolo Global a Escala Comunal de Emisión de Gases Efecto Invernadero (GPC) del Instituto de Recursos Mundiales (WRI); la cual a su vez hace referencia a las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006 cuando no sea posible obtener la información recomendada.

Paso 2: Diseño del inventario

Área de estudio

El alcance geográfico o dominio del inventario corresponde a la división política-administrativa del cantón de Belén, séptimo de la provincia de Heredia, específicamente en las coordenadas planas 519500- 514340 longitud este y 220950- 216580 latitud norte (Retana 2008).

Propósito

El propósito de este inventario de emisiones de gases de efecto invernadero -GEI- es, brindar las métricas necesarias que le permitan al cantón de Belén tomar decisiones para la reducción de las emisiones.

Temporalidad

Las emisiones reportadas para el presente inventario se dan en términos de ton CO_2e/ año (Perfil de GEI Comunal) y Gg CO_2e/ año (Reporte de Agregación Nacional); por ende, no se realizó ningún análisis sobre variaciones estacionales, mensuales, diarias u horarias.

Gases de efecto invernadero

El inventario incluye las emisiones generadas por: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxidos nitrosos (N_2O), Perfuorocarbonos (PFC), Hidrofluorocarbonos (HFC) y Hexafluoruro de azufe (SF_6).

Tipo y categoría de fuentes

Dentro del inventario, se establecen tres alcances. Entre ellos el alcance 1 (emisiones directas) corresponden a todas aquellas emisiones generadas únicamente en el cantón de Belén, el alcance 2 (emisiones indirectas), son aquellas en las que existe un consumo directo del cantón pero que no son generadas en el mismo, o por el contrario, se genera en el cantón pero su tratamiento se realiza fuera de él.

Finalmente se hace la salvedad del alcance otro (emisiones por HFCs y PFCs), en donde este se incorpora debido a la importancia de estas sustancias como agotadoras de la capa de ozono. Por otro lado, cada alcance se clasifica en sectores de emisión de GEI; como se observa a continuación, se muestra aquellos contemplados en el inventario:

Cuadro 5. Clasificación de alcances según el sector de emisión.

Sector	Subsector	Alcance
Energía	Transporte	1
	Fuentes fijas y de área	1
	Generación de electricidad	2
Manejo de residuos	Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)	1
	Tanques sépticos	1
	Relleno sanitario	2
	Tratamiento biológico	2
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Fermentación entérica	1
	Manejo del estiércol	1
	Suelos gestionados	1
Procesos Industriales y uso de productos (IPPU)	Equipos eléctricos	1
	Cilindros y extintores	1

Es importante mencionar que el sector AFOLU sólo incluye los subsectores de fermentación entérica, manejo del estiércol y suelos gestionados; ya que el cambio del uso del suelo se estudió en otra investigación por acuerdo entre la Municipalidad de Belén y la Escuela de Ciencias Ambientales.

Año base

El año base del primer inventario de emisiones de GEI corresponde al 2013, debido a que la mayoría de los sectores participantes contarían con la información completa para ese año.

Principios

Los principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión son aquellos que deben caracterizar todo inventario, consecuentemente se describen cada uno de ellos contemplado en el desarrollo del inventario en el cantón de Belén.

Relevancia: al reportar las emisiones con los enfoques de Perfil de GEI Comunal y Reporte de Agregación Nacional, se convierte un inventario de relevancia a escala local y a nivel nacional.

Integridad: con el fin de asegurar el cálculo de una incertidumbre certera y confiable, el inventario de GEI proporciona una contabilidad completa, precisa y coherente; para ello se justifican aquellas emisiones que no se puedan estimarse de manera completa -en caso de presentarse- y no se excluirán fuentes pequeñas de emisión.

Consistencia: el seguimiento de las emisiones en el tiempo es importante, por tanto las características de este inventario y su metodología de cálculo se deben mantener, para sus siguientes actualizaciones y sólo se cambiarán en caso de que exista una mejora en la estimación -menor incertidumbre-. Para ello se deben estandarizar hojas de cálculo que le permita al gobierno local actualizar los datos asociados a las emisiones del cantón.

Transparencia: este principio acompaña al de relevancia, al hacer público los resultados que arroja el inventario, esta comunicación está orientada a la claridad, objetividad y neutralidad.

Precisión: al igual que el principio anterior, la precisión acompaña a la integridad al buscar reducir la incertidumbre en la medida de lo posible, siendo esto el principal criterio establecido para el error máximo permitido para el inventario.

Incertidumbre

Se asume como método de cálculo de incertidumbre la distribución normal, según los valores recomendados por la Guía GPC y las Directrices del IPCC. Es importante considerar la investigación como compleja, debido a sus características como un sistema abierto de múltiples variables.

Control de calidad

La siguiente clasificación de confiabilidad de los datos permite evaluar la calidad de las estimaciones individuales realizadas para cada uno de los sectores de emisión, se tomó y adaptó el enfoque de Winiwarter, Ayite-Lo y Woodfield (2006) de las Directrices del IPCC:

Cuadro 6. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos.

Confiabilidad de los datos			
Clasificación	**Puntaje**	**Datos de actividad**	**Factores de emisión**
A	4	Basados en datos exhaustivos específicos para el cantón de Belén	Basado en datos generados por modelos mecanísticos específicos para el cantón de Belén
B	3	Basado en criterio de expertos	Basado en los factores de emisión del IMN
C	2	Balances de la producción y del consumo	Basado en los factores de emisión del IPCC para América Latina o países en desarrollo
D	1	Datos extrapolados para el cantón de Belén	Basado en los factores de emisión del IPCC para países desarrollados

La información que proporciona este criterio es la de identificar mejoras de estimación de emisiones en las futuras actualizaciones del inventario para el cantón.

Paso 3: Identificación de fuentes emisoras

Esta etapa se compone de las siguientes actividades:

- Determinación del tipo de fuente que puede generar la emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).
- Clasificación de las actividades productivas de la zona de estudio en sectores y subsectores de emisión; donde cada una de ellas se categorizó de la siguiente manera:

Cuadro 7. Clasificación y descripción de las fuentes emisoras.

1. Emisiones Directas			
Sector	**Subsector**	**Categoría**	**Descripción**
Energía	Transporte	En carretera	Esta categoría incluye aquellos vehículos que transitan por carretera como automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga 2 ejes, carga 3 ejes y carga 5 ejes; debido a la quema de combustible para su funcionamiento emite CO_2, CH_4 y N_2O.
		Ferroviario	Contempla únicamente el trayecto por el que transita el servicio de tren, debido a la quema de combustible para su funcionamiento emite CO_2, CH_4 y N_2O.
	Fuentes fijas	-	Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas (industrias, comercio e instituciones) que poseen más de 36 empleados; según la clasificación PYME utilizado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC). Sus emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O se deben a la quema de combustibles en sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos.

Energía	Fuentes de área		Incluye las emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O que engloban todas aquellas organizaciones público-privadas (industrias, comercio e instituciones) que poseen menos de 35 empleados; según la clasificación PYME utilizado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC). Sus emisiones se deben a la quema de combustibles en sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos. Además, se incluye aquel uso de combustibles para cocción en las residencias del cantón.
Manejo de residuos	Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales	-	Abarcan las emisiones de CH_4 generadas por las plantas de tratamiento especialmente anaerobias e ineficiencias de las aerobias, que existen en el cantón.
	Tanques sépticos	Tanques sépticos	Contemplan las emisiones de CH_4 y N_2O generadas según clase de servicio sanitario (tanque séptico, letrina, alcantarilla/cloaca) utilizados en la zona de estudio.
		Descargas directas a cuerpos de agua	Pertenecen a las emisiones de CH_4 y N_2O ocasionadas por la descarga directa de aguas residuales sin tratamiento previo.
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Fermentación entérica	-	Contemplan las emisiones de CH_4 generadas por los herbívoros (vacunos, burros, caballos, gallinas, porcinos, etc.) en su proceso digestivo.
	Gestión del estiércol	-	Abarcan las emisiones de CH_4 producidas durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol tanto sólido como líquido (orina).

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Suelos gestionados	Suelos gestionados	Incluyen las emisiones de N_2O generadas por el uso de fertilizantes en los cultivos del cantón.
		Encalado	
		Urea	
Procesos industriales y uso de productos (IPPU)	Equipos eléctricos	-	Emisión de SF_6 en transformadores localizados en el cantón.
	Cilindros y extintores	Comercial e industrial	Emisión de CO_2 por el uso de equipos que contienen este gas.
2. Emisiones indirectas			
Sector	**Subsector**	**Categoría**	**Descripción**
Energía	Consumo de electricidad	-	Contienen las emisiones indirectas de CO_2 procedentes del consumo de electricidad en el cantón, las cuales se generan en las plantas térmicas producto de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad.
Manejo de residuos	Relleno Sanitario	Industrial	Incluyen las emisiones de CH_4 producidas por la descomposición de la materia orgánica y otros.
		Residencial-comercial	
	Tratamiento biológico	-	
3. Otras emisiones			
Sector	**Subsector**	**Categoría**	**Descripción**
Procesos industriales y uso de productos (IPPU)	Sustancias que agotan la capa de ozono	-	Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas (industrias, comercio e instituciones) que poseen más de 36 empleados; según la clasificación PYME utilizado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC). Sus emisiones de PFC y HFC por el uso de equipos que los contienen.

Fuente: Elaboración con base en el Protocolo GPC del WRI (2012).

Paso 4: Estimación de las emisiones de CO_2e para el cantón de Belén

Esta etapa consiste en las siguientes actividades:

- Recopilación de la información sobre las fuentes de emisión en las actividades productivas del cantón; para ello se consultó el Censo Nacional de Población y Vivienda 2011, Censo Agropecuario 2014, Análisis de Emisiones de Gases por Fuentes Móviles en las Ciudades de Alajuela, Cartago y Heredia 2015, entre otras fuentes secundarias de información. Y como fuentes primarias, se diseñó y aplicó una serie de encuestas que permitieron adquirir la demás información en los comercios e instituciones (ver Anexo 1).

  Para ello, se sacó una muestra aleatoria estratificada, en dónde los comercios-instituciones se clasificaron en las categorías: hospedaje, refrigeración, servicios, SF_6 y talleres para los tres distritos del cantón. Se utilizaron las siguientes ecuaciones.

  Ecuación 1

$$n = {n_0}/{\left(1 + {n_0}/{N}\right)}$$

  Ecuación 2

$$n_0 = \left[Z_{\alpha/2} * {\left(\sqrt{\mathrm{pq}}\right)}/{d}\right]^2$$

  Donde,

  n= tamaño de la muestra.

  n_0= factor de muestreo.

  $Z_{\alpha/2}$ = estadígrafo gaussiano para un nivel de significancia α (1,96).

  α= nivel de significancia (preferiblemente 5%).

  p= proporción de la población que posee la característica (50%).

  q= proporción de la población que no posee la característica (50%).

  d= error máximo permitido (5-10%).

  N= tamaño de la población (finita).

  En el siguiente cuadro se presenta los tamaños de muestra (n) obtenidos para cada uno de los estratos mencionados anteriormente:

Cuadro 8. Tamaño de muestra para cada estrato seleccionado.

Distrito	**Clase**	Muestra
La Asunción	Hospedaje	4
La Asunción	Refrigeración	31
La Asunción	Servicios	90
La Asunción	SF6	1
La Asunción	Talleres	7
	Total	**133**
La Ribera	Hospedaje	4
La Ribera	Refrigeración	55
La Ribera	Servicios	81
La Ribera	SF6	0
La Ribera	Talleres	4
	Total	**144**
San Antonio	Hospedaje	2
San Antonio	Refrigeración	63
San Antonio	Servicios	150
San Antonio	SF6	1
San Antonio	Talleres	10
	Total	**225**

Esta categorización corresponde al tipo de empresas identificadas en la patente municipal, las cuales se agruparon con criterio técnico, el cual se comprueba en los resultados obtenidos. Estos consisten en:

- Hospedaje: paso variable de visitantes en el año, estándares de calidad en turismo y empresas turísticas importantes en la Gran Área Metropolitana.
- Refrigeración: reconocimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono que pueden no estar presentes en otra categoría; y que además, es su principal aporte de emisiones.
- Servicios: cubre la mayoría de las actividades comerciales del cantón.
- SF_6: reconocimiento de este gas en actividades económicas específicas.
- Talleres: posibilidad de generar menores emisiones en comparación con el resto de las categorías.
- En el caso de la industria, se diseñó una encuesta específica para la totalidad de las empresas; debido a que es el sector principal de producción del cantón.

- Estimación de la generación de CO_2e por fuente de emisión y cálculo total de emisiones según la guía GPC del WRI del 2012, la cual brinda una orientación paso a paso sobre la estimación de las emisiones, dentro de las opciones de cálculo se encuentra las recomendaciones de las Directrices del IPCC del 2006; y estas a su vez hacen referencia del uso de factores de emisión estimados para el país.

  Es importante recalcar que los datos obtenidos de la muestra, sirvieron para conocer el comportamiento de la población; por lo que se recalcularon para el tamaño de la población. Por otro lado, el cálculo de las emisiones se caracteriza por el método de cálculo de factores de emisión para cada uno de los sectores, en el Anexo 2 se pueden observar el cuadro comparativo entre las fórmulas implementadas y las sugeridas por la Guía GPC; y en el Anexo 3 se adjunta la memoria de cálculo para cada uno de las categorías y sectores.

- Cálculos finales: las emisiones obtenidas se reportaron como CO_2 equivalente, se realizó la equivalencia multiplicando las emisiones por el potencial de calentamiento global (PCG) por defecto para los 100 años, de cada uno de los gases distintos al CO_2 (como el metano y el óxido nitroso, entre otros), se utilizaron primordialmente los publicados por el Instituto Meteorológico Nacional en su publicación de Factores de Emisión en su sexta edición, y en caso de ser necesario los valores del IPCC acordes al Segundo Reporte de Evaluación (SAR).

- Análisis y procesamiento de los datos obtenidos, mediante el uso del programa Microsoft Excel 2007 (control de encuestas, bases de datos, cálculos, cuadros y gráficos).

- Evaluación del grado de incertidumbre de los datos obtenidos, mediante el método de distribución normal, recomendado por la guía GPC y las Directrices del IPCC. El cual según Quevedo (2011) se caracteriza por la posibilidad de determinar la ocurrencia de diversos valores aleatorios, en un intervalo de menos a más infinito $(-\infty, +\infty)$ de una variable aleatoria.

- Documentación del inventario de emisiones de CO_2e.

3.2 Etapa II. Guía Metodológica de inventarios de emisiones a nivel cantonal.

Esta sección consistió en resumir los pasos de la etapa anterior, de manera que se diseñó una guía para que pueda ser aplicada en el futuro en el cantón u otros cantones del país. Debido a su extensión no se presenta en la sección de resultados, sino en el Anexo 5.

Paso 1: Definición y caracterización del área de estudio

En la que se defina el área de estudio, año base, temporalidad, gases de efecto invernadero y alcance.

Paso 2: Planeación del Inventario

Se compone de establecer la figura de coordinador y conformar el equipo de trabajo, programación de actividades, determinar recursos y coordinar con actores sociales.

Paso 3: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero

Consiste en un compilado de las guías más utilizadas para la cuantificación de emisiones por cada sector de emisión.

3.3 Etapa III. Propuesta de prácticas ambientales y tecnologías más limpias para la reducción de emisiones.

Paso 1. Principales fuentes

Selección de las principales fuentes de emisión, de acuerdo a los datos obtenidos en la tercera etapa, por medio de la aplicación del Diagrama de Pareto, el cual provee una nueva perspectiva al momento de priorizar las acciones de mitigación ya que utilizando este método se obtuvo cuáles son los sectores que emiten más del 80% en comparación con las emisiones totales (Cruz *et al.* 2017).

Los Diagramas de Pareto son utilizados en aquellos casos en que sea necesario definir cuáles son las soluciones más importantes al obtener los problemas con mayor trascendencia. Lo anterior permitió definir los sectores en los cuales se debería proponer cambios que permitan reducir las emisiones; a su vez este análisis es posible utilizarlo en casos donde los resultados se encuentren por categoría (Sales 2016).

Para determinar el Diagrama primero se ordenaron los resultados de los sectores del inventario de forma descendente para poder así calcular el porcentaje acumulado del total que representan. Luego se trazó un gráfico con dos ejes las emisiones correspondieron al de barras y el porcentaje acumulado al de líneas. Por último al nivel del 80% se trazó una línea hasta el otro eje y los sectores que quedaron por encima de esta son los que deben ser priorizados con el fin de reducir las emisiones (Sales 2016).

Paso 2. Estrategias para la sensibilización, interpretación y educación del público meta

Se consideró incluir en esta etapa un apartado que brindara herramientas enfocadas en sensibilizar al público meta, el fin primordial de esto es hacerlos conscientes de su entorno mediante la educación en temas de cambio climático ya que al poder interpretar los datos les será más fácil percibir los efectos de este fenómeno en su entorno y a su vez les dará una opinión propia basada en los datos que se generen.

Paso 3. Prácticas ambientales para la reducción de emisiones de los principales sectores

A partir del resultado del diagrama de Pareto, se indagó sobre prácticas ambientales y tecnologías limpias que permitieran la reducción de emisiones, excluyendo posibles costos y otros efectos ambientales que conlleven en su aplicación, para ello se recopiló la información sobre posibles alternativas a través del escrutinio de material bibliográfico, como proyectos realizados en ciudades o comunidades con características similares a la escala cantonal, también al momento de planear las soluciones fueron consultados artículos científicos y normas nacionales todo con el objetivo de brindarle a la propuesta una perspectiva más aterrizada al cantón de Belén.

Paso 4. Análisis de la reducción de emisiones

El documento final de la propuesta fue elaborado recopilando la información obtenida en las etapas anteriores. A su vez se estimó, por medio de diversos cálculos, el potencial de reducción de los principales sectores emisores según la alternativa planteada.

4. Resultados

Este capítulo comprende los datos obtenidos, primeramente el desarrollo del inventario de emisiones, seguido de la guía metodológica diseñada para las futuras actualizaciones y finalmente, la propuesta de reducción de emisiones.

4.1 Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero para el cantón de Belén

Esta sección comprende dos partes, un diagnóstico cantonal sobre las principales variables biofísicas y socioeconómicas asociadas al cambio climático y, posteriormente el detalle de los resultados obtenidos en el inventario de emisiones del año 2013.

4.1.1 Recopilación de información secundaria

Esta etapa contiene los principales elementos que permiten relacionar el cambio climático con el cantón de Belén; desde su aporte a las emisiones de gases efecto invernadero hasta su vulnerabilidad ante este fenómeno.

4.1.1.1 Ubicación geográfica

El cantón de Belén pertenece a la provincia de Heredia, se encuentra dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM); sus límites geográficos son: al Este los cantones de Heredia y Flores, Alajuela en el Norte y Oeste, y San José, Escazú y Santa Ana al Sur, ver la Figura 12. Posee una extensión territorial de 11.81 km^2 a una altitud entre 1390-615 msnm, y se divide en los distritos de San Antonio, La Ribera y La Asunción. (Retana 2008, Municipalidad de Belén 2009)

4.1.1.2 Demografía

Según el Censo Nacional de Población y vivienda del 2011, la población de Belén ha alcanzado un total de 21 633 habitantes, siendo San Antonio el distrito con mayor número de personas, seguido por La Ribera y en último lugar La Asunción. Sin embargo, el distrito de La Asunción comprende 4.47 km^2 de territorio, convirtiéndose en el distrito con la mayor área y con la menor densidad poblacional, ver el siguiente cuadro. (INEC 2011)

Cuadro 9. Información general del cantón y sus distritos.

Distrito	Población total	Área (Km^2)	Densidad (Hab/Km^2)
San Antonio	9 942	3.51	2 833
La Ribera	6 040	4.17	1 448
La Asunción	5 651	4.47	1 264
Total	**21 633**	**12.15**	**1 781**

Fuente: INEC 2011.

La mayoría de los pobladores trabajan dentro del cantón, lo cual implica que no deben trasladarse grandes distancias para llegar a su destino; sin embargo hay una población importante que sale y entra del cantón para trabajar (ver figura 4). Esta información permite evidenciar el aporte de la generación de emisiones para el subsector de transporte.

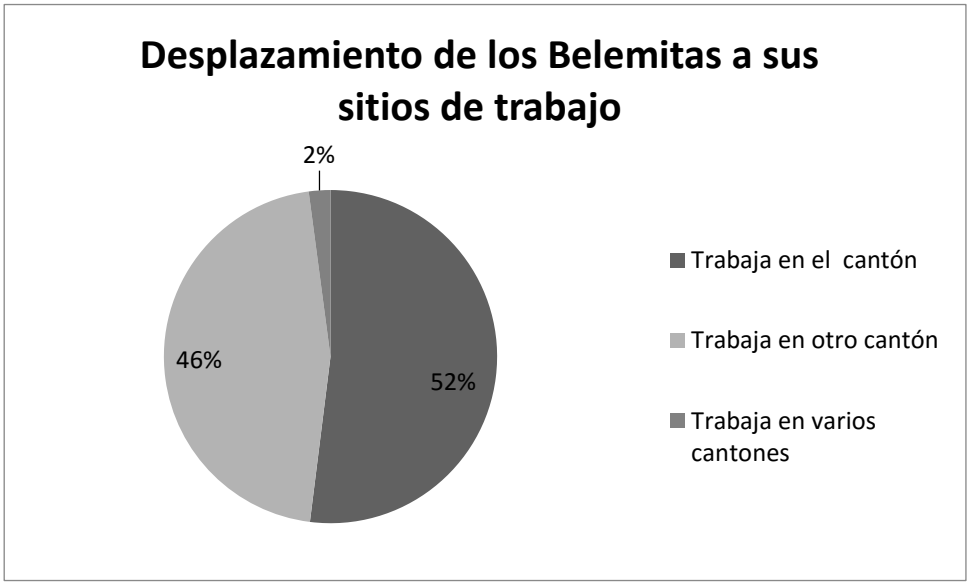

Figura 4. Destino de las personas con edad laboral del cantón. **Fuente:** INEC 2011.

4.1.1.3 Clima Regional

Según Bustamante (2008) y Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano (2013) la temperatura promedio en el cantón de Belén es de 21°C y existe un régimen de precipitación promedio anual de 1 400-1 500 mm. Variables que a causa del cambio climático, cambios en el uso del suelo y la planificación urbana, se asocian con la vulnerabilidad a amenazas naturales de la zona, ver Figura1 del anexo 4.

Según MINAE-IMN (s.f) y Campos (1999), se prevé que la temperatura del valle central aumentará en más de 3°C y precipitaciones en más del 30% en intensidad, si las emisiones de GEI son el doble de las generadas en 1990. Los lugares más vulnerables son los distritos de San Antonio y Asunción, por la reducción de la capacidad hidráulica producto del desarrollo urbano, y por el lanzamiento de residuos a la Quebrada Seca y al Río Bermúdez -ver coloración verde y rosa de la Figura 3 Anexo 4.

Esta amenaza hidrometerológica es importante debido a que se puede ver potencializada con el paso del tiempo y conllevan a la generación de condiciones de erosión, inestabilidad de terrenos y deslizamientos; así como impactos sobre la infraestructura vial, alcantarillado y los sectores residencial e industrial aledaños.

Otra variable importante es la velocidad de los vientos, ya que las masas de aire que pasan por Belén corresponden al patrón del Área Metropolitana del país; estas se transportan fácilmente desde los océanos hasta la meseta central. Por lo tanto es normal la presencia de vientos alisios en la época seca que alcanzan velocidades de 30 km/h y disminuyen su intensidad en la época lluviosa. Dentro del cantón, las direcciones del viento predominantes son suroeste y sureste. (Ávila 2009)

Estos vientos traen consigo el arrastre de contaminantes, originados por los proceso de manufactura que se desarrollan en el sector industrial, los cuales en su mayoría utilizan combustibles fósiles dentro de sus sistemas existentes y en conjunto con el alto flujo vehicular; afectando la calidad de aire que respiran los habitantes del cantón.

A pesar de que la concentración de contaminantes se asocia por la actividad local, la eficiencia de la dispersión, las condiciones meteorológicas y el efecto de la velocidad del viento; este fenómeno debe ser abordado desde un contexto más regional, debido a como se menciona anteriormente el cantón recibe corrientes de aire procedentes de otros sectores. (Ávila 2009)

4.1.1.4 Recurso hídrico

Las aguas subterráneas del cantón de Belén, pertenecen a los mantos acuíferos Barva y Colima superior e inferior, estos son de gran extensión con permeabilidades altas y con un espesor entre 10-60 m. Estos alimentan tres nacientes -Los Sánchez, La Soledad y Santa Bárbara- marcado en la Figura2 del anexo 4 de forma circular de color celeste y siete pozos -Pozo Nuevo, Don Chico, Los Mangos, Tanques Elevado, Parque Residencial, Doña Claudia y Doña Rosa- que pertenecen al acueducto municipal y otros más en concesión, ver estrellas y cuadros con equis del anexo 4 figura 2. (Bustamante 2008, Municipalidad de Belén 2014)

Este recurso presenta diversas amenazas, desde el uso del recurso para abastecer a la población y a los sectores socioeconómicos con agua potable, así como la contaminación por infiltración debido a malas prácticas agrícolas, industriales y urbanas. Estos sitios además, son vulnerables ante el cambio climático ya que se encuentran expuestos a grandes variaciones en la precipitación y a los cambios entre estaciones, afectando así la calidad y cantidad del agua; ver coloraciones amarillo, naranjas y verdes de la Figura 2 anexo 4. (Bustamante 2008, Echeverría 2011)

Ante esta situación, el Gobierno Local le compete la gestión de las aguas residuales públicas, la cual se describe en el "Plan Maestro de la Recolección, Tratamiento y Disposición de las Aguas Residuales del cantón de Belén", y se caracteriza por tener tres fases; la primera es una evaluación diagnóstico de las condiciones actuales (en la Urbanización Cariari con alcantarillado sanitario sin tratamiento, la Urbanización Manantiales con alcantarillado y planta de tratamiento para 90 viviendas, y Villas Sol con otra planta para 32 viviendas).

La segunda fase corresponde a la propuesta, evaluación y selección de alternativas y la tercera, el diseño de dichas mejoras; este plan se encuentra programado entre los años 2012-2040, bajo la coordinación de la Unidad de Alcantarillado Sanitario. Actualmente, la Unidad administra tres plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), dos de las cuales se mencionaron anteriormente y también con el apoyo de la Universidad Nacional, existen proyectos de levantamiento topográfico de las nacientes y pozos; así como un registro puntual de desfogues en todos los ríos del cantón, información que pertenecería al futuro Observatorio Ambiental. (Municipalidad de Belén 2012, Jiménez 2014, Céspedes 2014)

4.1.1.5 Planificación urbana

La Municipalidad de Belén cuenta con Plan Regulador en proceso de aprobación desde el 2005, contempla los Índices de Fragilidad Ambiental –IFAs- (Jiménez 2014). De él se derivan diversas regulaciones en el territorio, entre ellas: una zonificación urbana en la que el desarrollo debe ser conforme –ver figura 3 anexo 4-, *interés en la protección de nacientes, pozos y manto acuífero*, entre otros; los cuales permiten ejercer acciones de control sobre el cambio del uso del suelo.

Como se puede observar en la figura 3 del Anexo 4, el uso del suelo es principalmente residencial, comercial, industrial, institucional y recreativo, seguido de bosque, baldíos y agropecuario. Su comportamiento en los distritos es de uso residencial, comercial, agropecuario, institucional y baldíos en el San Antonio, mientras que en La Ribera se concentra los sectores residencial, industrial, agropecuario y comercial; y en La Asunción predomina las residencias, industrias, en menor proporción actividades agropecuarias y, el uso recreativo (Retana 2008).

El uso actual es el resultado de un cambio drástico en el uso de la tierra, ya que en menos de 50 años el porcentaje de territorio rural pasó de un 72.1% a prácticamente cero para el año 2011, debido a la infraestructura vial que conecta al cantón con otros cantones y al impulso de las zonas francas en la zona. Posteriormente estos cambios de uso se contuvieron durante 2007-2013 debido a un transitorio que restringió los permisos de construcción en el cantón (UNED s.f, Jiménez 2014).

Lo anterior demuestra una gestión -de los diferentes Gobiernos locales- enfocada en desarrollar estándares elevados de desarrollo en los cantones, asegurándose de mejorar los servicios básicos, con el fin de atraer nuevas empresas y conservar las existentes; logrando contar con una cantidad importante de empresas agrupadas en zonas francas y una oferta de hoteles amplia y variada, en donde el sector industrial y comercial son importantes debido a un total de 1049 patentes en estas categorías, ubicando a Belén es el mayor exportador en el país (Matarrita 2011, Jiménez 2014).

Si bien esta estrategia ha resultado, según una encuesta de percepción hecha a los habitantes del cantón, la mayoría consideran que el desarrollo ha sido sin planificación, afectando en mayor medida al distrito de La Ribera. Belén tiene un alto potencial agrícola desde un punto de vista edafológico, sin embargo por encontrarse dentro de la GAM está destinado a ser un territorio completamente urbano, situación que se evidencia con la información presentada anteriormente (Campos y Zúñiga 2011, B&A 2013).

En otro resultado de la encuesta de percepción, se le atribuye al intenso desarrollo urbano los problemas ambientales del cantón a pesar de que la mayoría considera la situación ambiental como buena. Así mismo, a raíz de los esfuerzos que se realizan desde 1999 en la creación de programas y proyectos, Belén se convirtió en el primer distrito en contar con una Unidad Ambiental a nivel nacional, como promesa de promover un desarrollo económico en armonía con el medio ambiente (B&A 2013).

Además, la posición estratégica del cantón lo posicionó en el 2011, en el primer lugar del índice de competitividad cantonal y económica, producto del fortalecimiento del mercado interno local y ha sido una consecuencia más en la disminución del sector agropecuario y el analfabetismo de los pobladores (Campos y Zúñiga 2011, Jiménez 2012).

Esto se ha visto potencializado por una infraestructura vial, la cual contiene aproximadamente 73.98 km de carretera pavimentada y 2 km con lastre, y posee accesos por rutas nacionales importantes como la autopista General Cañas y la radial de Santa Ana. El Municipio ha realizado varias investigaciones asociadas a la gestión y evaluación de la red vial cantonal, en donde se identifica la clasificación de la red vial cantonal, determinación del tránsito y clasificación vehicular, deterioro superficial y condición estructural (UNED s.f, Allen 2008).

Dentro de las características más importantes en la dinámica de la ciudad es el congestionamiento vial, el cual ha aumentado por la creciente flota vehicular privada y a un transporte público, que no cumple con la demanda de los usuarios potenciales; las principales rutas en las que se presenta esta particularidad son Belén-San José, Belén-Heredia y Belén-Santa Ana (Allen 2008, Zamora 2008, Municipalidad de Belén 2009).

Finalmente, en la siguiente figura se puede observar a manera de resumen los principales problemas ambientales presentes en el cantón y en los siguientes dos apartados, se detalla los actores sociales potenciales que puede colaborar con las iniciativas ambientales de la Municipalidad, para contrarrestar los efectos de la contaminación.

Es importante mencionar que la población Belemita según Quirós (2013), se caracteriza por tener al 100% de los niños y adolescentes estudiando y un 18% de la población en situación de pobreza, por lo que si se analiza el contexto del cantón, se reconoce que los jóvenes son potenciales actores de cambio como participantes de dichas iniciativas, y por otro lado, a un sector de la población que debe integrarse en el plan de desarrollo local.

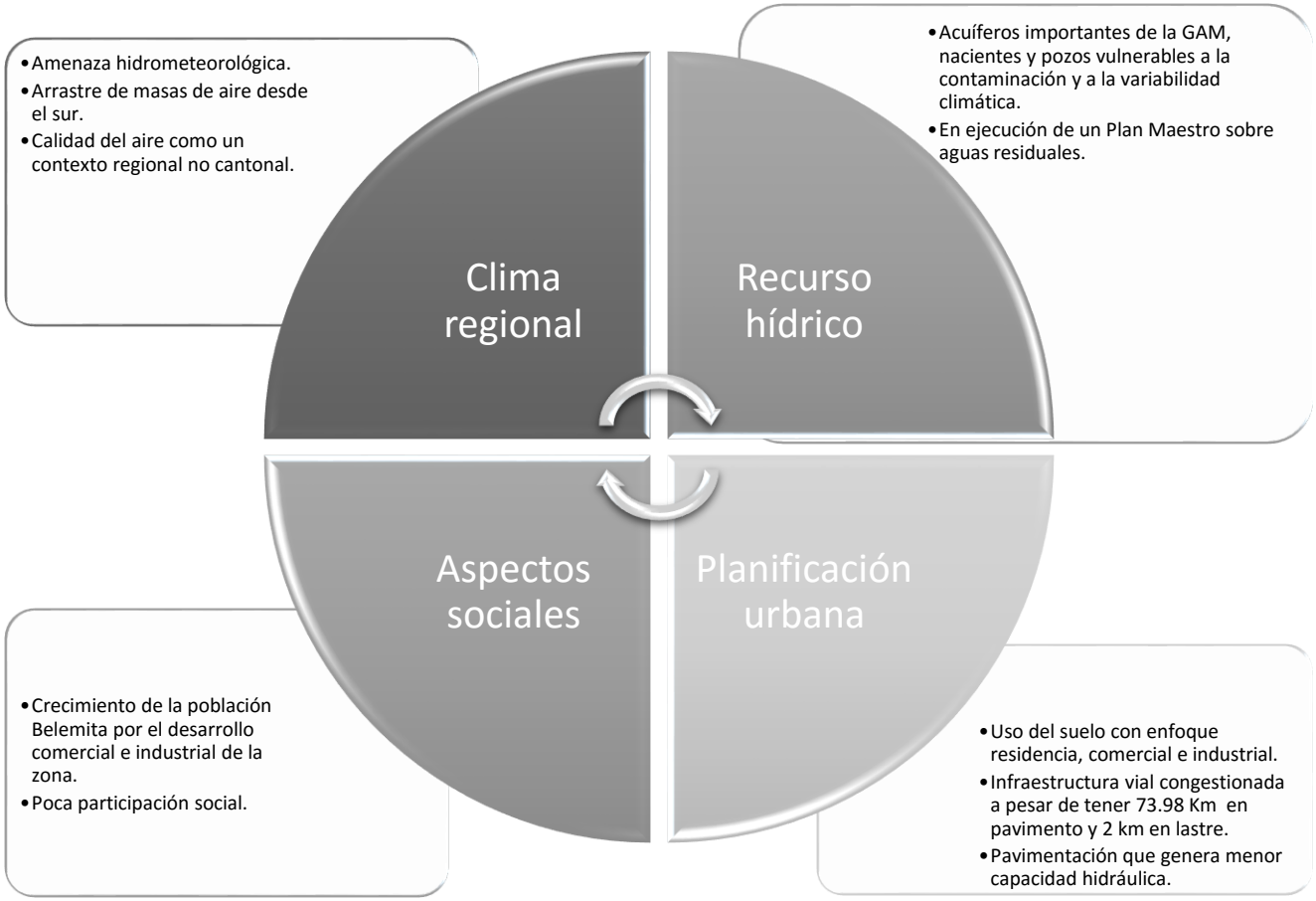

Figura 5. Problemática ambiental del cantón de Belén.

4.1.1.6 Aspectos organizativos

A continuación se presenta un mapeo de actores, en el cual se destaca la participación e influencia de estos en temas de gestión y colaboración con la mejora ambiental y de planificación del territorio que se asocian a la emisión de gases de efecto invernadero, así como a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Cuadro 10. Mapeo de actores sociales del cantón de Belén.

Sector	Actor	Función	Papel potencial
Institucional	**Municipalidad de Belén**		
	Desarrollo urbano: áreas de planificación urbana, obras públicas, bienes inmuebles, catastro y control constructivo.	Regular el uso de terrenos e infraestructura. Proteger la propiedad contra el deterioro ambiental. Establecer regulaciones de ordenamiento para salvaguardar el cantón de la contaminación, excesivo tránsito y explotación de recursos naturales. Aplicación, seguimiento y vigilancia del Plan Regulador.	Gestión de ordenamiento territorial. Adopción de proyectos por medio de convenios y aporte de presupuesto.
	Unidad ambiental	Coordinación, implementación y seguimiento de proyectos de monitoreo y mejora ambiental. Brinda el servicio de recolección de residuos sólidos a nivel residencial y comercial. Promueve el desarrollo socioeconómico en equilibrio con el ambiente.	Promoción de un marco regulatorio para el control de la contaminación. Coordinación y gestión de proyectos ambientales.

Sector	Actor	Función	Papel potencial
Institucional	Servicios públicos: Acueducto Municipal	Brinda el servicio de agua potable en el cantón.	Administración y protección de áreas de recarga (vulnerables a contaminación y cambio climático).
	Alcantarillado sanitario	Da el servicio de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de origen público.	Gestión y control de la contaminación por aguas residuales. Prevención de la contaminación.
	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)		
	Oficina regional	Su ámbito de competencia es muy amplia destacándose las áreas de recurso hídrico, educación ambiental, participación ciudadana, biodiversidad, calidad ambiental y otros.	Ente rector de recursos naturales por medio de la aplicación de la gran variedad de normas nacionales como la Ley Forestal, Ley de Aguas, Reglamento sobre Evaluación de impacto ambiental, Ley de, de Biodiversidad, Reglamento sobre procedimientos de la SETENA, Vertido y Reuso de Aguas Residuales y otros asociados a estas y otras leyes. Apoyo técnico en el manejo del recurso hídrico y demás recursos naturales.

Sector	Actor	Función	Papel potencial
Institucional	**Ministerio de Salud (MINSA)**		
	Sede regional Flores-Belén.	Garantizar las condiciones de calidad de la salud y ambiente de la población costarricense. Supervisar los reportes operacionales de la PTAR y los hornos y calderas de las empresas. Realizar controles cruzados en la industria.	Ente rector del medio ambiente y salud de los habitantes, por medio de la aplicación del art 50 de la reforma a la Constitución Política, leyes y reglamentos de su competencia.
	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)		
	Investigación agropecuaria, extensión agropecuaria y otros.	Promover la competitividad y el desarrollo de las actividades agropecuarias y del ámbito rural, en armonía con la protección del ambiente y los recursos productivos, como un medio para impulsar una mejor calidad de vida.	Asesor técnico en agricultura y ganadería. Rector de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas autorizados. Control del uso de la tierra.
Industrial	Industrias que tienen sus procesos productivos en el Cantón.	Cooperar en la recolección de información para determinar las emisiones.	Implementación de prácticas y tecnologías limpias, apoyando proyectos comunales. Adopción de responsabilidad empresarial.

Sector	Actor	Función	Papel potencial
Sociedad civil	**Grupos organizados**		
	Asociaciones de Desarrollo Integral	Coordinar sus actividades con las que realice la municipalidad del cantón respectivo, a fin de contribuir con su acción al buen éxito de las labores del organismo municipal y obtener su apoyo.	Articulación comunal de ordenamiento territorial. Adopción de proyectos por medio de convenios.
	Representantes de salud, educación, banca y finanzas, producción, vivienda, transporte, ambiente, trabajo, energía y telecomunicaciones y otros	Articulación comunal con diversos grupos organizados e instituciones. . Por ejemplo Hogar de Ancianos, Centro de cuidados Paliativos, Cruz Roja, Grupo de Scouts, Centros Educativos.	

Fuente: DINADECO 2013, Municipalidad de Belén 2014, MAG 2014.

4.1.1.7 Iniciativas de la Municipalidad

Las actividades que actualmente desarrolla la Unidad de Gestión Ambiental, tendrán un impacto importante en el aporte a las emisiones, principalmente por que los mayores cambios se están dando durante los años 2014-2016 y el inventario es para el 2013. Por lo tanto será posible en un futuro comparar un antes y un después de la intervención en los aspectos ambientales, igualmente es importante mencionar que los resultados de estas actividades deben documentarse si se desea ver la diferencia. En la figura 6 se resumen las actividades que han desarrollado.

En materia de cambio climático es posible hacer una relación entre las iniciativas y los impactos que tendrán sobre el medio, tal es el caso de la gestión de residuos sólidos por dos aspectos: el primero se debe a que la recuperación de materiales implica la reducción en la demanda de recursos para la generación de productos nuevos y el segundo, se asocia a la disminución de gases, como lo es el Metano, por una correcta disposición final de los desechos (GAIA s.f.).

Por otro lado, la intervención en los ríos es una medida orientada a la mitigación de los impactos del cambio climático, que en el caso de Belén se sabe de su vulnerabilidad a amenazas de origen hidrológicas. En este mismo sentido se encuentran las actividades de arborización y reforestación como medio de proteger las riveras de los ríos, sin embargo también están destinadas a estabilizar los terrenos, atraer fauna silvestre y captar dióxido de carbono.

La educación ambiental es una herramienta para hacer consientes a las personas acerca de su entorno y el impacto que tienen en el cambio climático, además les permite ser partícipes y responsables en el proceso de mitigación y adaptación a este fenómeno, en otras palabras forma actores sociales capaces de incidir positivamente en su entorno.

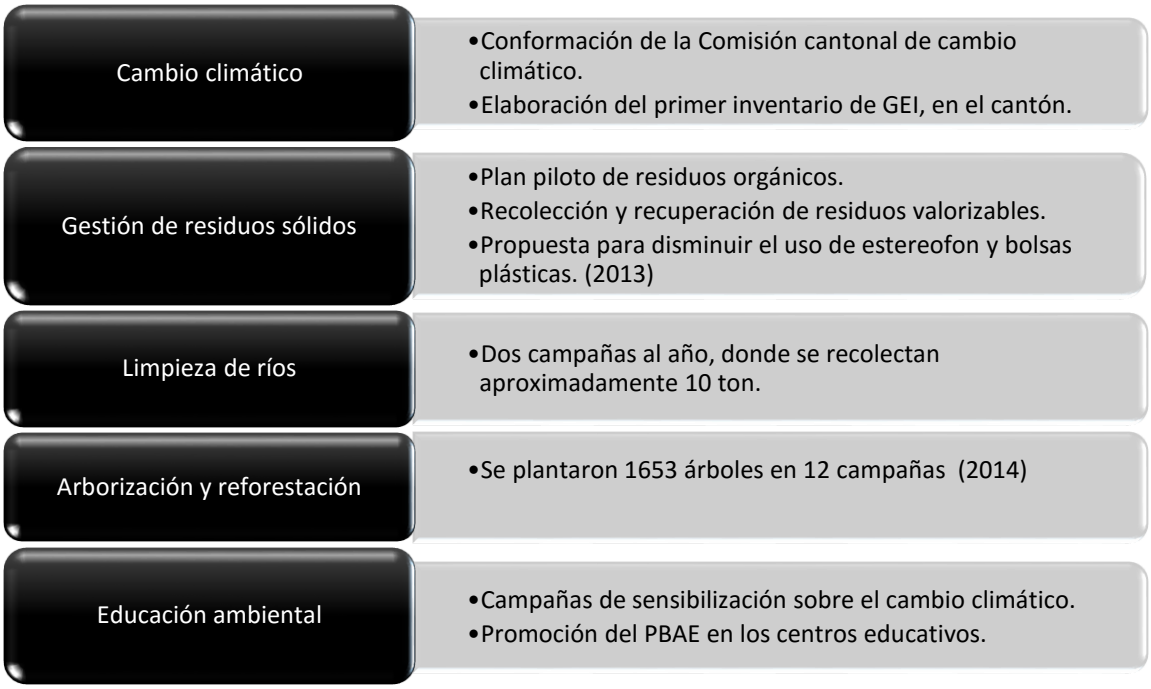

Figura 6. Acciones que realiza la Municipalidad en las diferentes temáticas ambientales.

Fuente: Modificado con base en Jiménez 2014.

Además de las acciones presentadas, se deben mencionar los siguientes programas y proyectos:

- Programa Observatorio Ambiental del Cantón de Belén: Se compone por dos proyectos de monitoreo, el primero se refiere a la calidad de los cuerpos superficiales y el segundo trata de la calidad del aire.
- Monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficial: este proyecto se da desde el año 2008 y ha permitido generar información sobre los niveles de contaminación que presentan los cuerpos de agua así como el impacto que tiene esta situación en los ecosistemas. Además ha sido una base de información científica para determinar cuáles son las fuentes que más impacto causan al ambiente. Los resultados evidencian una demanda alta en el recurso hídrico a los acuíferos debido a que los cuerpos superficiales presentan una carga elevada de contaminantes que hacen imposible utilizar esta agua. En la época lluviosa el riesgo de inundación en la orilla de los ríos aumenta debido al incremento en la turbiedad y sólidos suspendidos totales (LAA 2009).
- Monitoreo de la calidad del aire: es un proyecto en asociación con la Universidad Nacional, en donde se determina la calidad de aire a partir del muestreo de partículas (PM_{10}) y gases criterio específicamente el dióxido de azufre (SO_2) y el óxido nitroso(NO_2). Hasta el momento existen tres informes con resultados para toda la GAM; el más reciente indica que ambos parámetros se encuentran por encima a lo estipulado en el Decreto Ejecutivo 30221-S, en donde los gases han ido aumentando su concentración en el ambienta al contrario de las PM -debido a los cambios en los compuestos del combustible han disminuido- (LAA 2010).

4.1.2 Diseño del inventario

4.1.2.1 Alcance del inventario

- Temporalidad

Las emisiones reportadas para el presente inventario se dan en términos de ton CO_2e/ año (Perfil de GEI Comunal) y Gg CO_2e/ año (Reporte de Agregación Nacional); por ende, no se realizó ningún análisis sobre variaciones estacionales, mensuales, diarias u horarias.

- Contaminantes

El inventario incluye las emisiones generadas por los siguientes GEI: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Perfuorocarbono (PFC), Hidrofluorocarbono (HFC) y Hexafluoruro de azufe (SF_6).

- Tipo y categoría de fuentes

Dentro del inventario, se establecen tres alcances. Entre ellos el alcance 1 (emisiones directas) corresponden a todas aquellas emisiones generadas únicamente en el cantón de Belén, el alcance 2 (emisiones indirectas), son aquellas en las que existe un consumo directo del cantón pero que no son generadas en el mismo, o por el contrario, se genera en el cantón pero su tratamiento se realiza fuera de él.

Finalmente se hace la salvedad del alcance otro (emisiones por HFCs y PFCs), en donde este se incorpora debido a la importancia de estas sustancias como agotadoras de la capa de ozono. Por otro lado, cada alcance se clasifica en sectores de emisión; como se observa a continuación, se muestra aquellos contemplados en el inventario:

Cuadro 11. Clasificación de alcances según el sector de emisión.

Sector	Subsector	Alcance
Energía	Fuentes fijas y de área	1
	Transporte	1
	Generación de electricidad	2
Procesos Industriales y uso de productos (IPPU)	Equipos eléctricos	1
	Sustancias que agotan la capa de ozono	Otro
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Fermentación entérica	1
	Manejo del estiércol	1
	Suelos gestionados	1
	Encalado	1
	Urea	1
Manejo de residuos	Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)	1
	Tanques sépticos	1
	Relleno sanitario	2
	Tratamiento biológico	2

Es importante mencionar que el sector AFOLU sólo incluye los subsectores de fermentación entérica, manejo del estiércol, suelos gestionados, encalado y urea; ya que el cambio del uso del suelo se estudió en otra investigación por acuerdo entre la Municipalidad de Belén y la Escuela de Ciencias Ambientales.

- Incertidumbre

Se asume como método de cálculo de incertidumbre la distribución normal, según los valores recomendados por la Guía GPC y las Directrices del IPCC. Es importante considerar la investigación como compleja, debido a sus características como un sistema abierto de variables.

- Control de calidad

La siguiente clasificación de confiabilidad de los datos permite evaluar la calidad de las estimaciones individuales realizadas para cada uno de los sectores de emisión, se tomó y adaptó el enfoque de las Directrices del IPCC:

Cuadro 12. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos.

Confiabilidad de los datos			
Clasificación	**Puntaje**	**Datos de actividad**	**Factores de emisión**
A	4	Basados en datos exhaustivos específicos para el cantón de Belén	Basado en datos generados por modelos mecanísticos específicos para el cantón de Belén
B	3	Basado en criterio de expertos	Basado en los factores de emisión del IMN
C	2	Balances de la producción y del consumo	Basado en los factores de emisión del IPCC para América Latina o países en desarrollo
D	1	Datos extrapolados para el cantón de Belén	Basado en los factores de emisión del IPCC para países desarrollados

Fuente: Modificado basado en Winiwarter *et al* 2006.

La información que proporciona este criterio es la de identificar mejoras de estimación de emisiones en las futuras actualizaciones del inventario para el cantón.

4.1.2.2 Limitaciones del inventario

Seguidamente se presenta cada uno de los inconvenientes en la recopilación de la información:

Aspectos generales

- Para poder cubrir el 100% de la muestra seleccionada para la actividad comercial y de servicios, se tuvo que realizar ajustes en el campo; ya que al utilizar la base de patentes municipales otorgadas en el 2014 y extenderse la aplicación de las encuestas hasta el 2016, hubo establecimientos que no se pudieron localizar.

Para ello, se procedió a sustituir por otras empresas que calificaban en el mismo estrato; como por ejemplo, se incorporaron a todas las Escuelas públicas en el estrato de servicios; emisiones calculadas por Salazar-Acuña (2015).

- La búsqueda del apoyo del sector industrial se gestionó por medio de invitaciones a las reuniones de la Comisión de Cambio Climático y de la Unidad Ambiental de la Municipalidad.

- Sin embargo, la anuencia a la participación de este sector económico fue escaso; por lo que se procedió a solicitar la información por medio de la autoridad sanitaria, Ministerio de Salud. A pesar de que aumentó la participación de llenado de la información, no se logró obtener el 100% de la participación; solamente el 47%.

Fuentes de área

- La mayoría de los comerciantes no lleva registros de consumo de combustibles, por lo que los datos obtenidos corresponden a aproximaciones.

Transporte en carretera

- La complejidad vial del cantón permitió calcular las emisiones solamente en los tramos mayormente transitados y para el método seleccionado, sólo se pudo seleccionar a los automóviles, dejando por fuera los demás medios de transporte.

Sustancias que agotan la capa de ozono

- Este subsector es el que posee mayor faltante de información, ya que los equipos pierden la información de las etiquetas con el paso del tiempo o bien, la información requerida no se encuentra disponible o accesible. A pesar de que se hicieron los esfuerzos para que las empresas distribuidoras de estos equipos brindaran la información, no hubo respuesta positiva.

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

- Según la Ley 7839 sobre la confidencialidad de los datos, el Instituto Nacional de Estadística y Censos no puede brindar la dirección ni números telefónicos sobre los participantes en el Censo Agropecuario; por lo que la información no se pudo confirmar en campo.
- Se recurrió a utilizar manuales técnicos de cultivos y a agricultores sobre el uso de cal y urea como fertilizantes; sin poder corroborar la información en la actividad agrícola del cantón por lo mencionado en el punto anterior.

Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)

- La información disponible no se encuentra completa.

Relleno sanitario y tratamiento biológico

- La mayoría de los empresarios que gestionan sus residuos de manera privada (no municipal), no llevan registros de la generación de residuos por su tipo, por lo que los datos obtenidos corresponden a aproximaciones.

4.1.3 Identificación de fuentes emisoras

Primeramente, se presentan los resultados obtenidos en la recopilación de los datos en los comercios e instituciones; los mismos confirman que los estratos utilizados para la clasificación del sector comercial fueron idóneos para identificar las fuentes de emisión y permitieron dirigir mejor la recopilación de la información.

4.1.3.1 Aspectos generales

El muestreo aleatorio estratificado se aplicó a los comercios e instituciones presentes en el cantón de Belén, se partió de los estratos denominados hospedaje, refrigeración, servicios, SF_6 y talleres; con el fin de dirigir las preguntas y recopilar la información de forma más efectiva.

Lo anterior se pudo comprobar según la figura 7, en la cual se observa el aporte de cada estrato a los sectores de emisión de gases efecto invernadero. En donde el estrato hospedaje posee un consumo importante de combustibles y de refrigerantes; la refrigeración por otro lado, consume mayormente gas licuado de petróleo y refrigerantes.

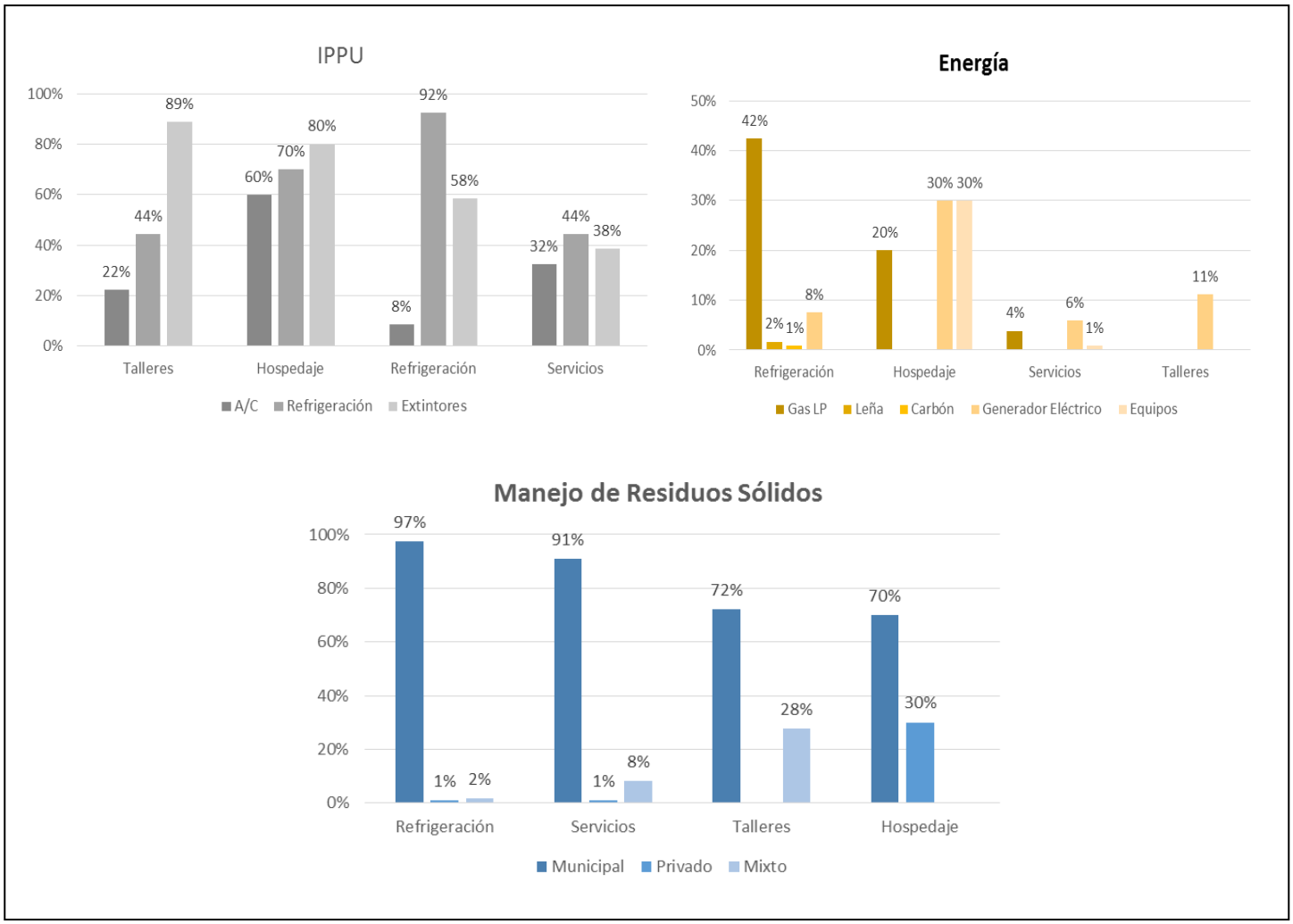

Figura 7. Aporte de los estratos dela actividad comercial/institucional en las emisiones de GEI en el cantón de Belén.

El estrato denominado SF_6 se realizó en especial para un par de comercios dedicados a la reparación de equipos que pudieran contener este tipo de gas; sin embargo todas las encuestas fueron rechazadas. Por otra parte, se pudo identificar que el uso de otros productos como los refrigentes son utilizados en todo tipo de comercio; por lo que destaca aún más su inclusión en este inventario.

Finalmente, se obtuvo que la mayoría de los comercios e instituciones reciben el servicio de recolección de residuos municipal, por lo que las emisiones obtenidas en el subsector de relleno sanitario se encuentran cubiertas casi en su totalidad.

La siguiente figura por su parte, contiene el resultado general de la muestra tomada, un total de 502 patentes municipales; de las cualles se tuvo un respuesta positva del 75%, mientras que el porcentaje restante se negó a contestar las preguntas diseñadas.

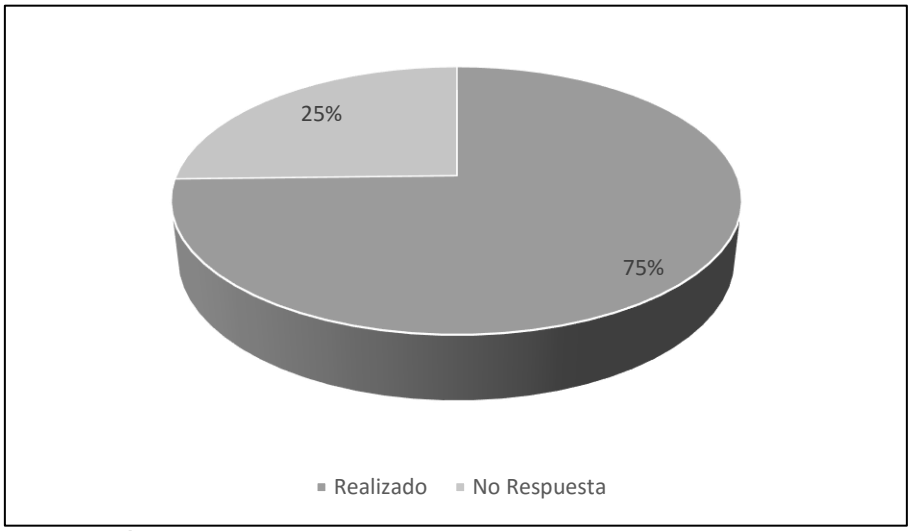

Figura 8. Caracterísiticas de la muestra en la actividad comercial/institucional del cantón de Belén.

En cuanto a la actividad industrial, se obtuvo una respuesta del **47%** de las empresas inscritas en la Municipalidad y en el Ministerio de Salud. De estas, todas poseen un consumo importante de combustibles, en especial de búnker y GLP; así como de refrigerantes.

4.1.3.2 Estimación de las emisiones de CO_2e para el cantón de Belén

Los gases de efecto invernadero encontrados fueron Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Perfuorocarbono (PFC) y Hidrofluorocarbono (HFC), los cuales arrojan un total de 610 180 ton CO_2e/ 2013 (alcances 1 y 2) y 1 866 ton CO_2e/ 2013 (alcance otros), según se muestra en la siguiente figura; en el caso del Hexafluoruro de azufre (SF_6) se reportan cero emisiones, como se detalla más adelante.

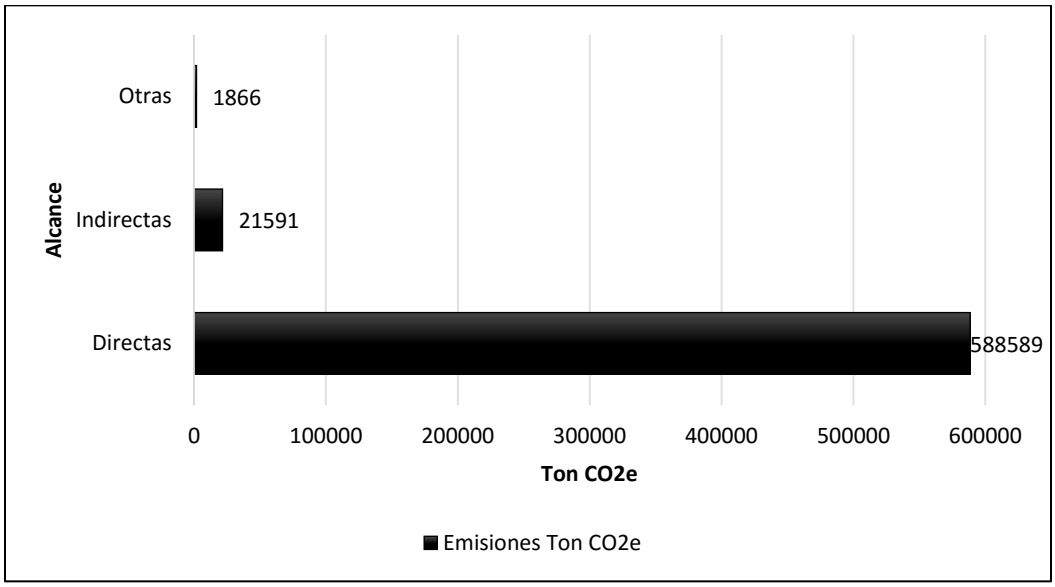

Figura 9. Emisiones de gases de efecto invernadero en el cantón de Belén, año 2013.

Por otro lado, el método de distribución normal permitió obtener una incertidumbre total de 157% (alcances 1 y 2); y 7%. El elevado porcentaje se debe principalmente a que los factores de emisión poseen una elevada incertidumbre, en especial los nacionales para el sector de energía. Y en cuanto al control de la calidad, de acuerdo a la tabla elaborada para la evaluación de los datos obtenidos, se tiene una calificación promedio B para los alcances 1 y 2; al igual que para el alcance denominado otro.

Es importante mencionar que a manera individual, el alcance 2 posee una mayor calificación (A); por lo que esta evaluación arroja una calificación buena para el inventario, misma que se debe mantener o mejorar para las próximas actualizaciones.

Además, la siguiente figura muestra en detalle el aporte de cada uno de los sectores de emisión para los alcances 1 y 2; donde los sectores de energía y manejo de residuos son los principales emisores.

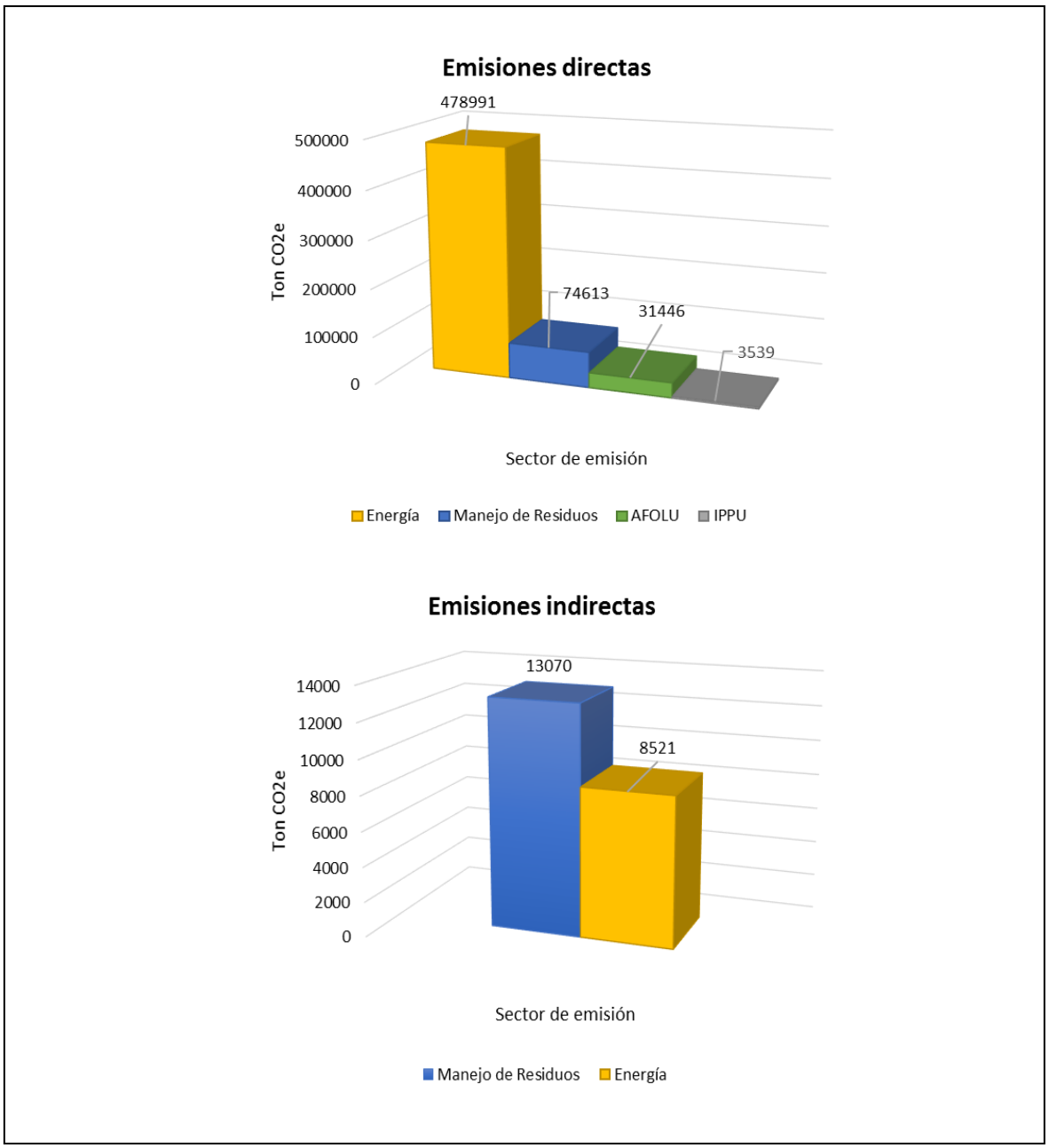

Figura 10. Emisiones directas e indirectas según el sector de emisión para el cantón de Belén en el año 2013.

Ahora bien, en la figura 11, se destaca la contribución de los subsectores a las emisiones totales del inventario; en las emisiones directas, se evidencia el principal aporte de las emisiones por el transporte, seguido por los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Fuentes fijas y área (quema de combustibles por calderas, generación de electricidad, cocción y otros); mientras que en las emisiones indirectas, la disposición de residuos al rellenos sanitario y la generación de electricidad son los mayores emisores.

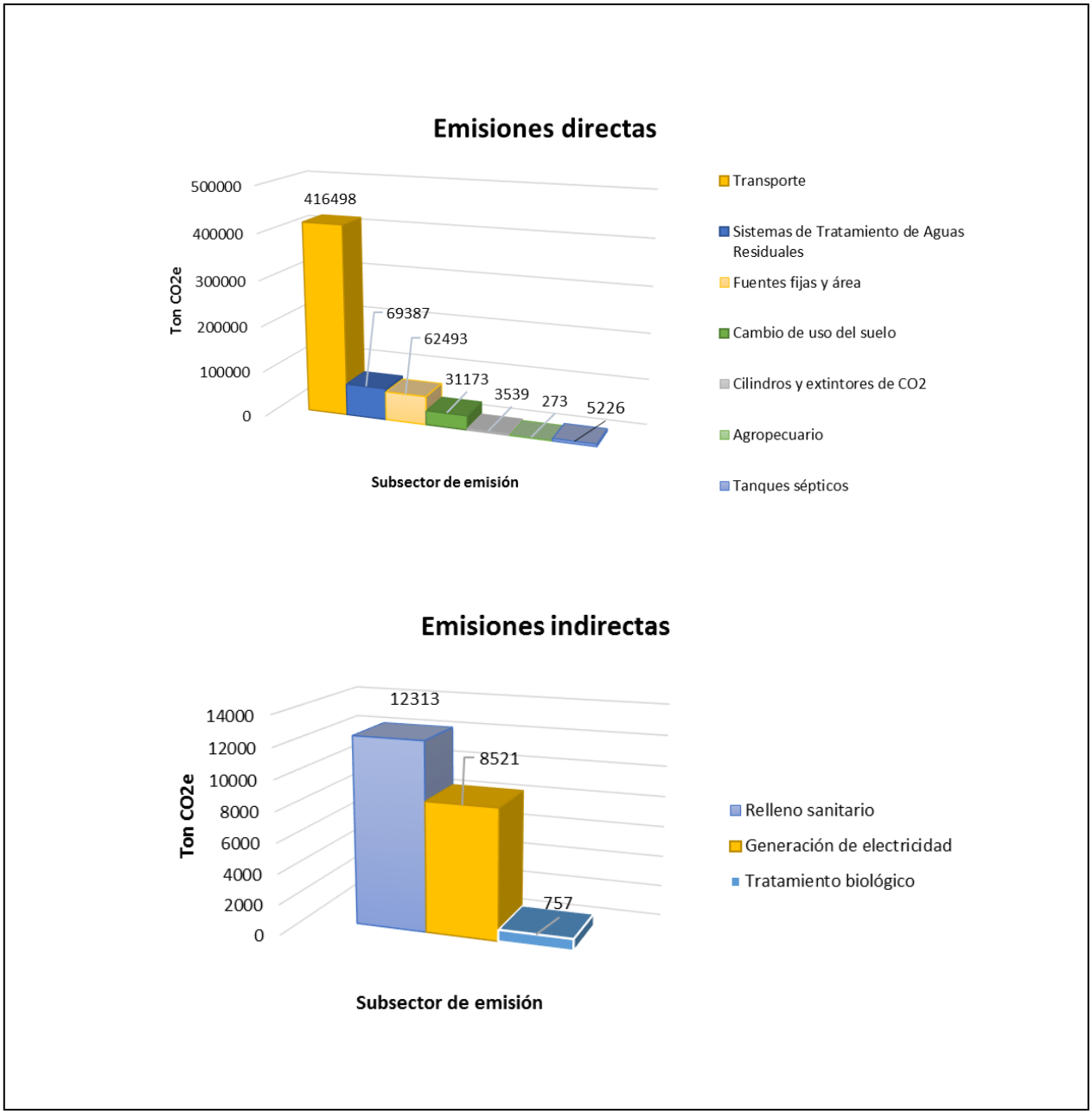

Figura 11.Emisiones directas e indirectas según el subsector de emisión.

Por último, el siguiente cuadro muestra una comparación general de los resultados entre los inventarios del cantón de Belén y el cantón de San Rafael de Heredia; así como con el inventario nacional del año 2012 (último inventario publicado), mas se debe tomar en cuenta que dichos inventarios fueron calculados con otras metodologías, por lo que se debe utilizar la información de este cuadro y los cuadros del 14 al 17, con cautela.

De la búsqueda de patrones en los sectores de emisión, se obtiene que el cantón de Belén genera más emisiones que el de San Rafael, esto se debe a que según lo descrito por Rodríguez y Rodríguez (2011), este último municipio se caracteriza por tener más actividades rurales y por una posición geográfica más alejada, lo que puede representarse en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Sólidos diferentes (ajustados a la ruralidad por tener una fracción de producción más elevada y con otra composición). A su vez, Rodríguez y Rodríguez (2011) las emisiones para el sub sector transporte se calcularon de manera diferente.

Mientras que a nivel nacional, el cantón Belemita podría aportar un 5% de las emisiones, este valor puede cambiar debido a que el método de cálculo del Inventario Nacional es por procesos, y se deben descontar aquellos parámetros que podrían significar un conteo doble de emisiones; sin embargo a nivel comunal, se puede visualizar condiciones más específicas que no se suelen evidenciar por dicho tipo de metodologías.

Cuadro 13. Comparación de resultados entre el primer inventario cantonal y el último inventario nacional de emisiones.

Fuente de emisión	Entre cantones de Heredia en general (Ton CO_2e / año)		Entre el cantón y el país (Gg CO2e/año)	
	Belén	**San Rafael**	**Belén**	**Nacional**
Energía	487 512	32 568	488	7 214
IPPU	3 539	-	4	981
AFOLU	31 446	7 472	31	1 119
Residuos	87 683	13 727	88	1 864
Total	**610 180**	**53 767**	**610**	**11 178**
-	**Diferencia: 556 413**		**Contribución: 5%**	

Fuente: con base en Rodríguez y Rodríguez 2011, Chacón *et al* 2012, Rodríguez 2014.

4.1.3.3 Emisiones de CO_2e por sector de emisión

4.1.3.3.1 Sector Energía

La principal fuente de emisión de este sector es el uso de combustibles fósiles para transporte y otras actividades como cocción de alimentos, operación de calderas y hornos, y por último, el uso de la energía eléctrica.

4.3.3.1.1 Subsector Transporte

Como se mencionó en el diagnóstico cantonal, Belén al ubicarse en el Gran Área Metropolitana posee una actividad comercial e industrial importante; además contiene una de las principales rutas del país -La General Cañas-, en la cual se presenta un gran flujo vehicular que atraviesa las principales carreteras del cantón. Otra opción de ingreso al municipio, es por medio del tren, el cual únicamente funciona en las horas pico de tránsito y se comunica, con el centro de San José.

Categoría en carretera:
El cálculo de estas emisiones requirió la mayor cantidad de información y un análisis exhaustivo de cada una de las variables. En acompañamiento con las Unidades de Obras y Ambiente de la Municipalidad de Belén, se determinaron los siguientes sitios como las zonas de mayor flujo vehicular, ver los puntos morados de la figura 12.

De estas áreas se tomó el flujo vehicular y su distancia (7.37 km totales) de las investigaciones realizadas por Allen (2008) y Municipalidad de Belén (2013b); esta información se ajustó por medio de una proyección, para conocer la cantidad de vehículos que transitan por ciertos sitios con faltante de información entre ambos estudios.

Una vez obtenida esta información se multiplicó el flujo vehicular diario por un factor de corrección estipulado por Moukhallaleh (2015) del cantón de Heredia, para poder estimar el tránsito promedio diario anual -17 967 vehículos/año-. De dicha cantidad de vehículos se requirió dividirlos en: pasajeros, taxis, carga liviana, buses y camiones de 2, 3 y 5 ejes según los establece la guía GPC.

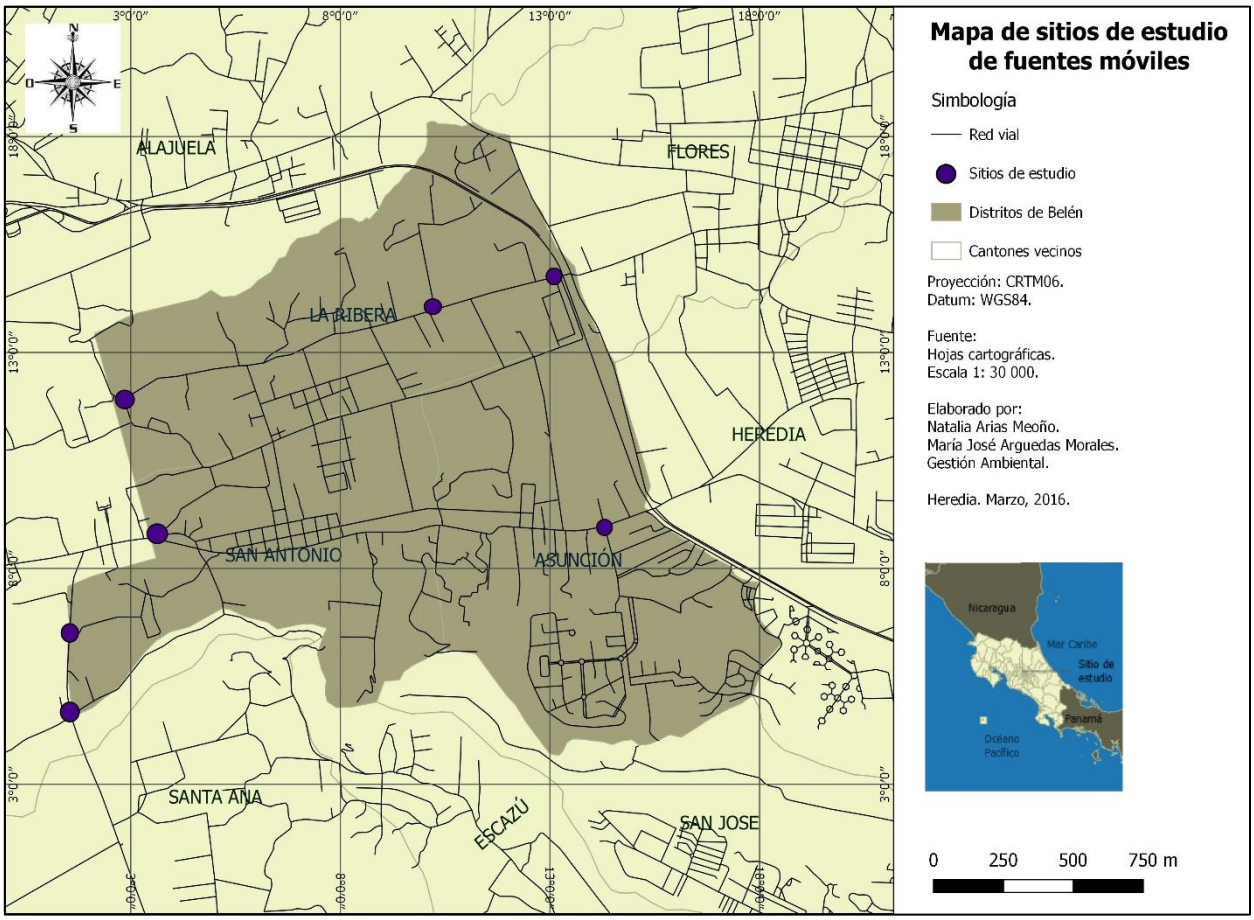

Figura 12. Sitios de mayor flujo vehicular del cantón de Belén.

Para ello, se hizo una visita en dos de los sitios más transitados –intersección EPA e INTEL-, por medio de identificación visual, se clasificaron los medios de transporte grabados en ambos sitios, ver figura 12. Finalmente, se tomó el 80% de los vehículos más utilizados (pasajeros) y se caracterizaron de la siguiente manera:

- Tipo de combustible según Moukhallaleh (2015), 93% gasolina y 7% diésel.
- Edad vehicular (1984-2013) y el 80% de las marcas más utilizadas en la actualidad hasta el 2013 en el país, de acuerdo a Jara (2015) son Toyota, Hyundai, Nissan, Honda y Mitsubishi.

Búsqueda del rendimiento promedio de cada marca y año en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para determinar el consumo de combustible. (US Government s.f)

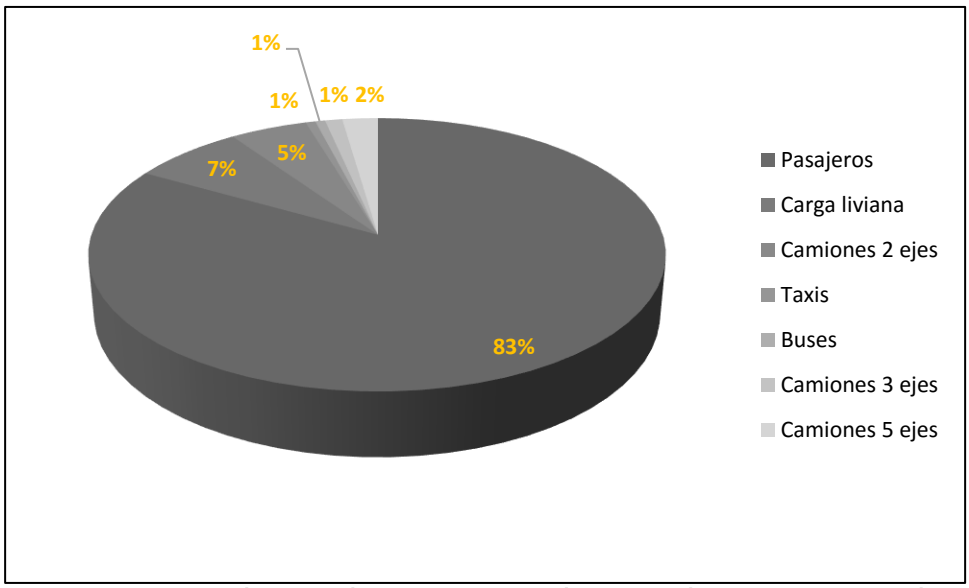

Figura 13. Distribución del tránsito en el cantón de Belén por tipo de vehículo.

A continuación se muestra el dato total de las emisiones de esta categoría y su comparación con el inventario del cantón de San Rafael de Heredia y el inventario nacional. Se destaca una gran diferencia entre ambos cantones, esto se puede deber a la diferencia del método de cálculo, Belén por actividad inducida (origen-destino) y San Rafael por la venta de combustible en estaciones de servicio.

Cuadro 14. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector en carretera.

Entre cantones de Heredia en general		**Entre el cantón y el país vehículos tipo pasajeros**	
Belén	**San Rafael**	**Belén**	**Nacional**
478 991 Ton CO_2e / año	18 880 Ton CO_2e/ año	460 Gg CO_2e/ año	2 204 Gg CO_2e/año
Diferencia: 460 111 Ton CO_2e / año		**Contribución: 21%**	

Fuente: elaboración con base en Rodríguez y Rodríguez 2011, Chacón *et al* 2012.

Otra causa puede ser por el tipo de desarrollo cantonal, el primero totalmente urbano y el segundo, urbano pero con una presencia importante de la actividad rural; así como el paso por rutas nacionales en el cantón de Belén, caso que no se presenta en su similar herediano. Finalmente, se tiene que las emisiones belemitas por esta categoría, aportan el 21% de las emisiones a nivel nacional en la categoría; siendo una importante contribución.

Esto se puede deber a que en los inventarios nacionales utilizan la venta de combustible a nivel nacional; método más acertado a nivel país por su facilidad de aplicación y tener la información de primera fuente; por el contrario, a nivel cantonal esta información no permite mostrar que dicho carburante adquirido se quemó dentro del territorio en estudio

Categoría Ferroviaria:

Las emisiones de este sector fueron estimadas en el tramo que transita el tren dentro del cantón, de ello se tomó en cuenta una distancia de 2.5 km; generando así una emisión de 0.2 Gg de CO_2e/ año, lo cual representa el 5% de las emisiones a nivel nacional en la categoría.

4.1.3.3.1.2 Subsector Fuentes Fijas y de Área

Estos subsectores se componen por el consumo de los combustibles de GLP, búnker, diésel, gasolina, leña y carbón. En la siguiente figura se puede observar el aporte de estos, los primeros dos gráficos son de las fuentes fijas y los últimos tres, corresponden a las fuentes de área. Todas ellos muestran que el combustible más utilizado es el gas licuado de petróleo, mientras que los demás carburantes se utilizan de manera variable.

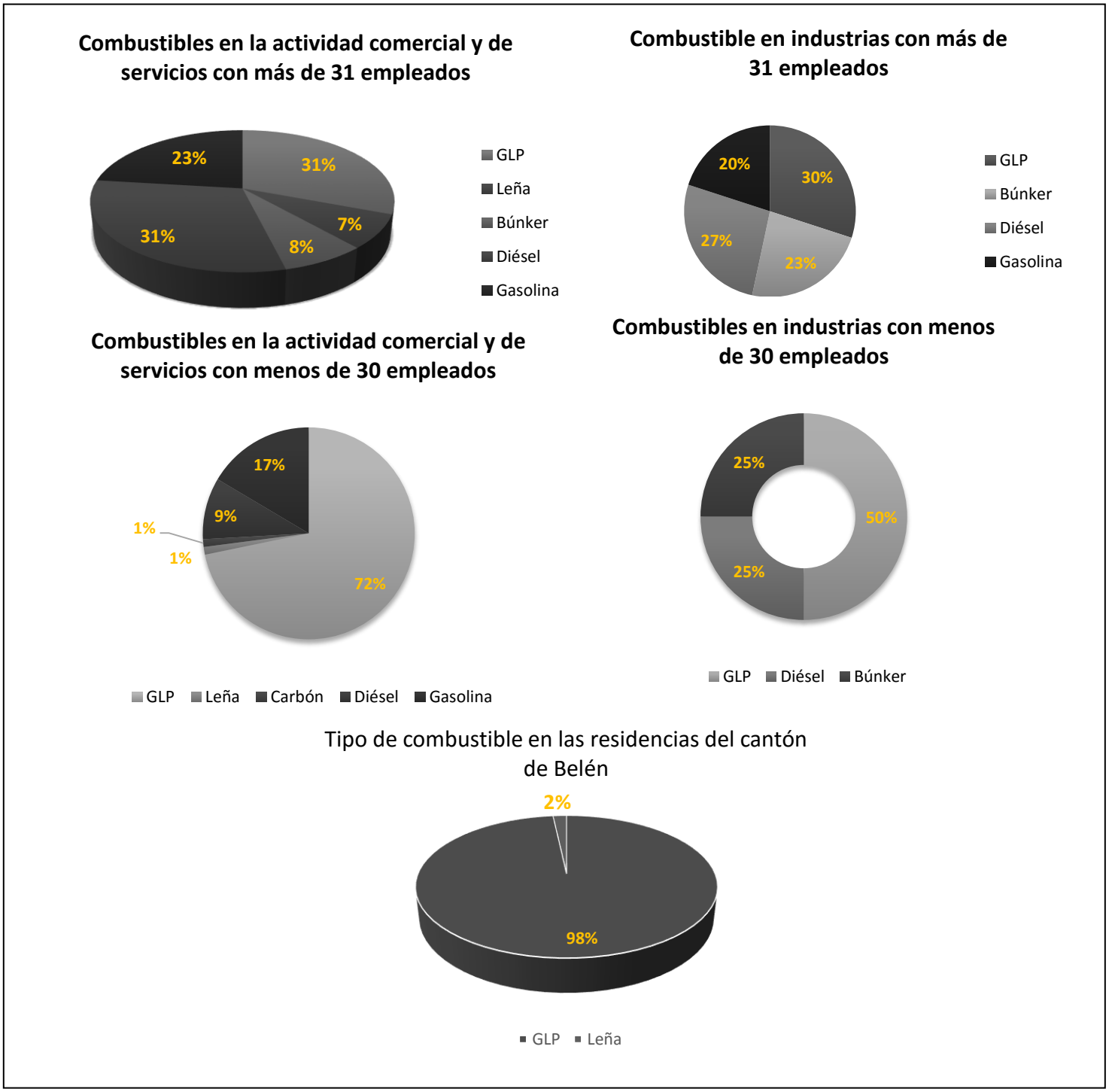

Figura 14. Comportamiento del uso de combustibles en el subsectores de fuentes fijas y de área en el cantón de Belén.

Es importante mencionar que el carbón y la leña se utilizan en mucha menor proporción y son los únicos que no son de origen fósil.

Finalmente, en el siguiente cuadro se evidencia, que la unión de estas fuentes de emisión contribuyen al 15% de las emisiones en la misma clasificación del inventario nacional del 2012, mientras que existe una considerable diferencia entre ambos cantones, no sólo por sus condiciones de desarrollo ya expuetas, sino porque el inventario de San Rafael no se incluyó el cálculo de las emisiones generadas en los hogares de la localidad.

Cuadro 15. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector fuentes fijas y área.

Entre cantones de Heredia en general		**Entre el cantón y el país**	
Belén	**San Rafael**	**Belén**	**Nacional**
62 493 Ton CO_2e / año	908 Ton CO_2e/ año	62 Gg CO_2e/ año	409 Gg CO_2e/año
Diferencia: 691 585 Ton CO_2e / año		**Contribución: 15%**	

Fuente: elaboración con base en Rodríguez y Rodríguez 2011, Chacón *et al* 2012.

7.1.3.3.1.3 Subsector Generación de Electricidad

Este subsector corresponde a las emisiones producto del consumo eléctrico en las categorías: residencial, comercial e industrial; para las cuales se obtuvo una generación total de 8 521 Ton CO_2e / año. Estas emisiones son mayores que las del cantón de San Rafael, debido al desarrollo urbano ya mencionado en Belén.

Cuadro 16. Comparación de emisiones entre inventarios en el subsector generación de electricidad.

Entre cantones de Heredia en general		**Entre el cantón y el país**	
Belén	**San Rafael**	**Belén**	**Nacional**
8 521 Ton CO_2e / año	3 327 Ton CO_2e/ año	9 Gg CO_2e/ año	2 204 Gg CO_2e/año
Diferencia: 5 194 Ton CO_2e / año		**Contribución: 2%**	

Fuente: elaboración con base en Rodríguez y Rodríguez 2011, Chacón *et al* 2012.

4.1.3.3.2 Sector Manejo de Residuos

Este sector comprende la descomposición de la materia orgánica producto la generación de aguas residuales y residuos sólidos; por tanto se divide en los subsectores de Sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), tanques sépticos, relleno sanitario y tratamiento biológico. Todos los datos se obtuvieron de las encuesta aplicada o bien, de las bases de datos del Ministerio de Salud y la Municipalidad.

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de los resultados obtenidos de estos subsectores, se destaca una amplia diferencia entre los cantones Heredianos, debido a la diferencia de la actividad económica y a la cantidad poblacional. Además, se puede deber a que según Herrera (2016), el manejo de alcantarillado sanitario es deficiente en las zonas rurales en comparación con las zonas urbanas, esta red de distribución de aguas residuales, suele acompañarse de plantas de tratamiento; a su vez, los tanques sépticos se encuentran en aumento ya que reducen la contaminación por la descarga directa a los cuerpos de agua.

Cuadro 17. Comparación de emisiones entre inventarios en el sector de Manejo de Residuos.

Entre cantones de Heredia en general		**Entre el cantón y el país**	
Belén	**San Rafael**	**Belén**	**Nacional**
87 683 Ton CO_2e / año	13 727 Ton CO_2e/ año	88 Gg CO_2e/ año	1 864 Gg CO_2e/año
Diferencia: 73 956 Ton CO_2e / año		**Contribución: 5%**	

Fuente: elaboración con base en Rodríguez y Rodríguez 2011, Chacón *et al* 2012.

El subsector que genera la mayor cantidad de emisiones son los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ver la figura 15; debido principalmente a que en el cantón hay una alta presencia de industrias, residenciales y condominios; así como un avance en alcantarillado sanitario a nivel local. El segundo subsector, es la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario de la Carpio; emisiones que se presentan por la cantidad poblacional que reside y transita por el cantón, y a la actividad económica cantonal.

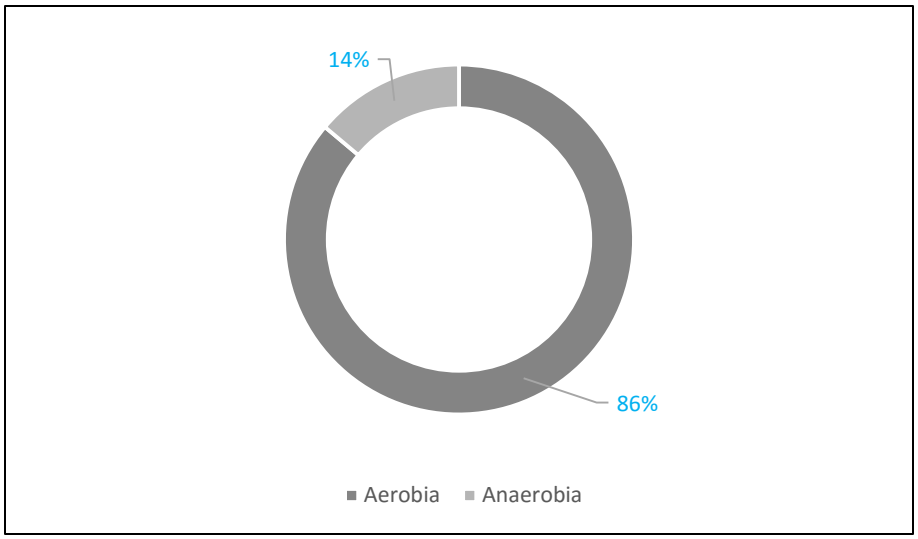

Figura 15. Emisiones según el subsector de emisión del sector manejo de residuos.

4.1.3.3.2.1 Sub sector Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Se utilizó las bases de datos de los reportes operacionales presentados ante el Área Rectora de Salud Belén-Flores del Ministerio de Salud, y de la Unidad de Alcantarillado de la Municipalidad de Belén. Es importante mencionar que estos sistemas se han desarrollado a nivel industrial, residencial y comercial; para cada uno de ellos se clasificó el método de tratamiento en aerobio y anaerobio, y se obtuvo una proporción 86-14% respectivamente, ver la siguiente figura.

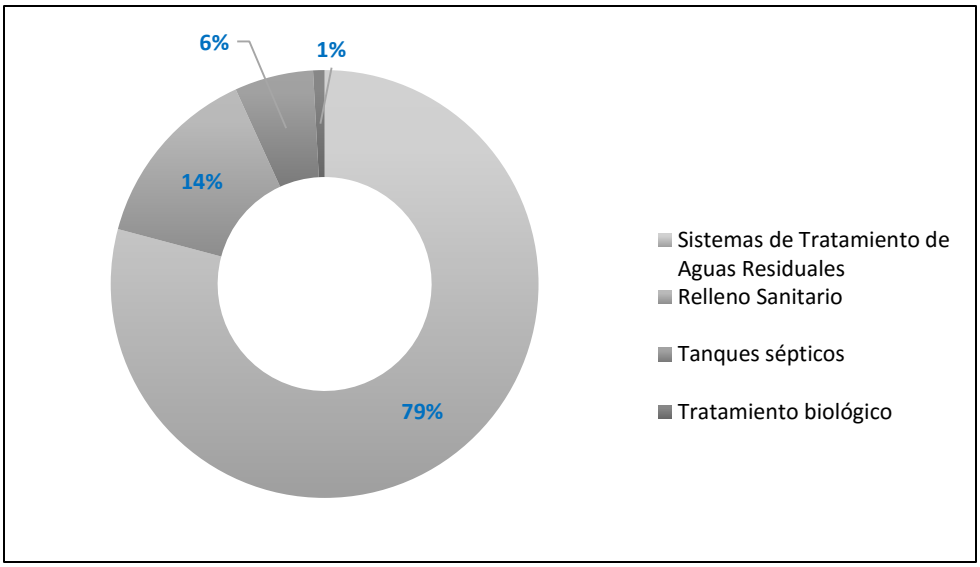

Figura 16. Distribución de tipos de tratamiento de aguas residuales en el cantón de Belén.

4.1.3.3.2.2 Subsector Tanques Sépticos

Este subsector comprende las emisiones de tanques sépticos y descargas directas (sin ningún tipo de tratamiento) a cuerpos de agua; en la siguiente figura se puede observar que las descargas directas se encuentran en una mucho menor proporción con respecto a los tanques sépticos.

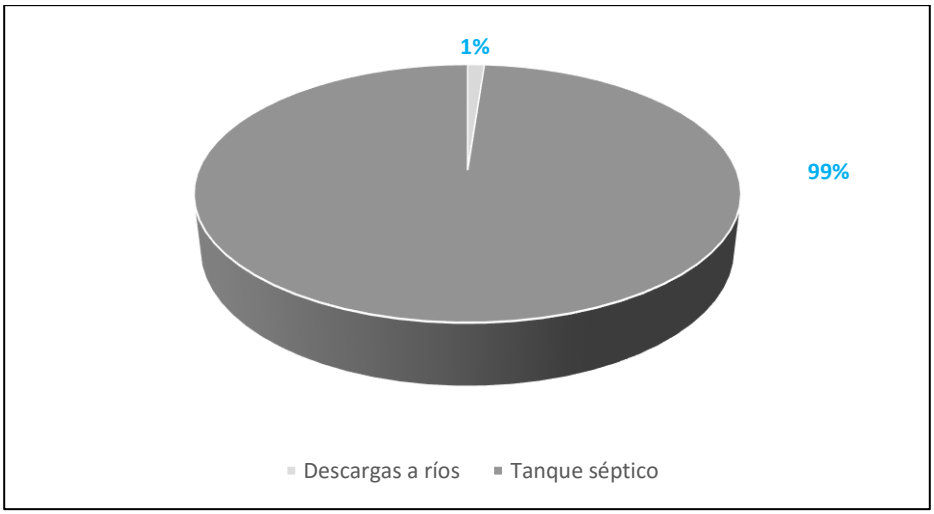

Figura 17. Distribución de tratamiento y no tratamiento de tratamiento de aguas residuales.

4.1.3.3.2.3 Subsector Relleno sanitario

Po otro lado, los residuos sólidos presentan diversos problemas como la recolección irregular y la no diferenciada. En el cantón de belemnita presenta una recolección de dos días a la semana y se encontró que el 35% de la población no separan los residuos sólidos domiciliares, mientras que el 42% de los comercios tampoco lo hace (Otárola *et al* 2014, ProDUS-UCR 2016).

4.1.3.3.2.4 Tratamiento biológico

Esta categoría es utilizada por el sector privado y se encuentra generando la menor cantidad de emisiones (757 ton CO_2e/ año) en la categoría de manejo de residuos, es consecuencia de la presencia de industrias alimenticias en la localidad. Esta categoría podría aumentar en caso de que existan proyectos en diversas escalas en la comunidad; ya que según Otárola *et al* (2014), el 57% de los residuos que se envían al relleno sanitario son de índole biodegradable.

4.1.3.3.3 Sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

Como se mencionó en el apartado metodológico, este sector incluye los resultados obtenidos para los subsectores de fermentación entérica, manejo del estiércol y uso de fertilizantes; los cuales suman un total de 273 ton CO_2e; y el principal contribuyente de emisiones es la fermentación entérica.

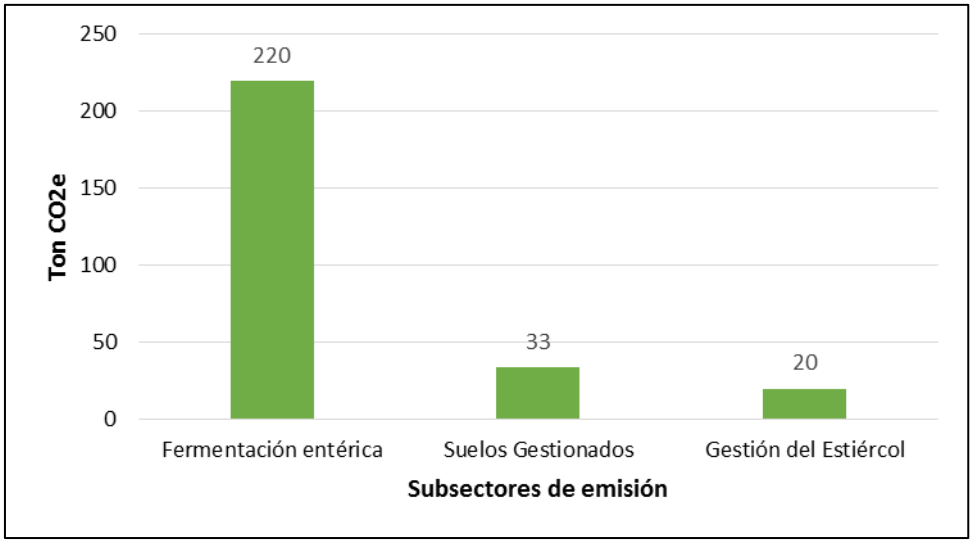

Figura 18. Emisiones según el subsector de emisión del sector AFOLU para el cantón de Belén.

Se destaca la exclusión del subsector cambio de uso del suelo debido a que Rodríguez (2014) las calculó para el mismo año base de este inventario -2013-; los resultados que obtuvo fue de 30 900 Mg CO_2e/ año, convirtiéndose en el mayor emisor del sector; ya que como se ha mencionado anteriormente Belén es un cantón estrictamente urbano. Si se incorporan todos los subsectores, se obtiene un total de emisiones en el sector AFOLU de 31 Gg CO_2e/ año.

4.1.3.3.3.1 Subsector Fermentación entérica

Como fuente de información se tomó el Censo Agropecuario 2014, la cual corresponde a la población por categoría de animal; sin embargo por referencia de la Comisión de Cambio Climático de Belén, se consultó la cantidad de burros directamente a su propietario ya que no estaban contemplados en el Censo. La categoría de animales encontrada fue la siguiente:

Figura 19. Tipo de animales encontrados en el cantón de Belén. **Fuente:** INEC 2015.

4.1.3.3.3.2 Subsector Gestión del estiércol

Los datos también vienen del Censo Agropecuario, a diferencia que se incorporan las aves de corral a los tipos de animales incorporados en el subsector de fermentación entérica; el método utilizado se calculó con base a la cantidad de animales por categoría.

4.1.3.3.3.3 Subsector Suelos gestionados

Este subsector se compone de tres categorías, suelos gestionados, cal y urea. En la estimación de las emisiones se tomaron las hectráreas reportadas por tipo de cultivo de acuerdo al Censo Agropecuario 2014. También, se recorrió a una serie de entrevistas a agricultores y consulta de manuales para conocer la cantidad de cal o urea aplicada; ya que según Hernández (2016), las recomendaciones técnicas sobre el adecuado manejo de los cultivos se basan en manuales para cada tipo de cultivo y en experiencia.

Las preguntas de consulta fueron dirigidas a la indagación de la dosificación y frecuencia de aplicación según la extensión de terreno cultivado; lo que implica que no necesariamente se utiliza cal y urea como fertilizantes en todos los productos de siembra. En la siguiente figura se muestra el tipo de cultivos encontrados en el cantón, los cuales son parte de la actividad económica.

Figura 20. Tipo de cultivos encontrados en el cantón de Belén. **Fuente:** INEC 2015.

4.1.3.3.4 Sector de Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU)

Este sector se compone de los subsectores de las emisiones procedentes de los equipos eléctricos por el uso de hexafluoruro de azufre (SF_6) y de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Los cuales se detallan a continuación.

7.1.3.3.4.1 Subsector Equipos eléctricos

Según Mata (2016), la Compañía Nacional de Fuerza y Luz utiliza en sus equipos de transmisión y distribución aceite dieléctrico, no se utiliza el gas Hexafluoruro de azufre (SF_6) en sus equipos. Por lo que estas emisiones no se generan en el cantón de Belén.

4.1.3.3.4.2 Subsector Sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)

Este subsector se divide en dos, las emisiones generadas por la presencia y uso de extintores tipo BC a nivel comercial e industrial, así como el consumo de Dióxido de Carbono en establecimientos con venta de alimentos; y por separado las emisiones producidas por el gran uso de refrigerantes en todas las actividades económicas del cantón, como se mencionó en el apartado

4.1.3.1 Aspectos generales.

De las primeras se obtuvo 3 539 ton CO_2e, mientras que en las segundas 1 866 ton CO_2e; las cuales aportan el 0.6% de las emisiones para esta categoría a nivel nacional. Además de contribuir con la generación de gases de efecto invernadero, aportan en la destrucción de la capa de ozono y se encuentran reguladas por el Protocolo de Montreal; en la siguiente figura se puede observar la estrategia nacional de eliminación gradual, de los principales HCFC utilizados en equipos de refrigeración y aire acondicionado.

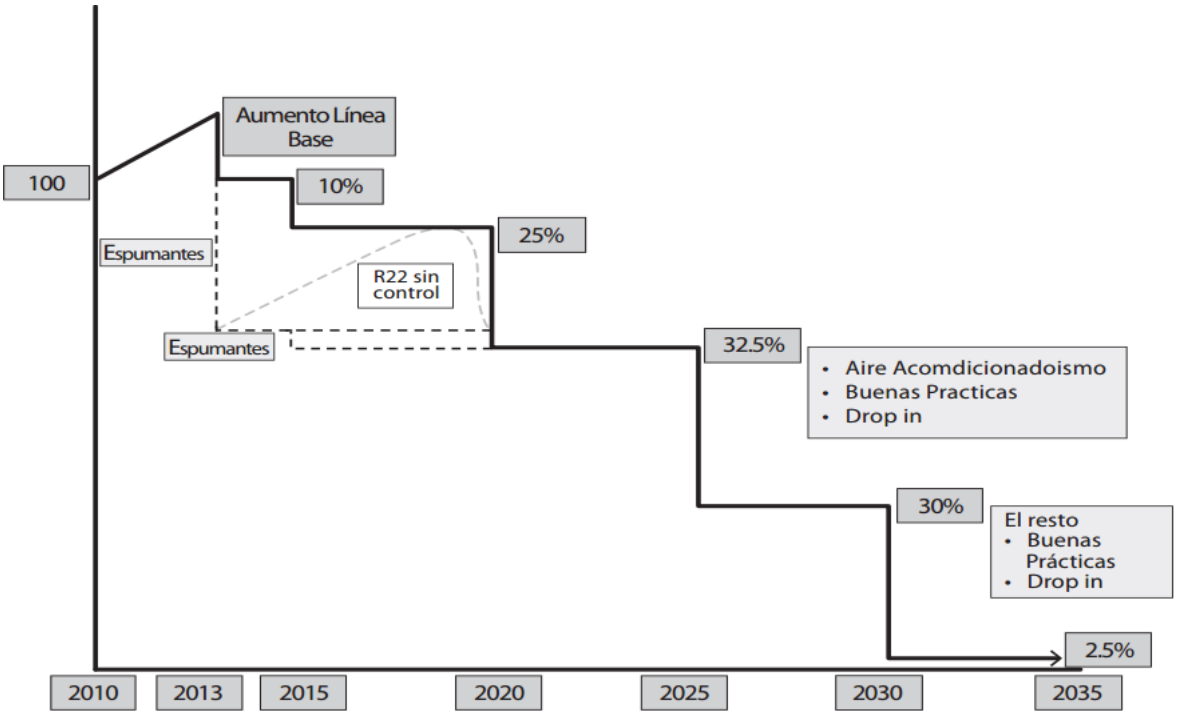

Figura 21. Estrategia de reducción paulatina de la importación de HCFC en Costa Rica.
Fuente: MINAET 2013.

Según MINAET (2013), las sustancias que se seleccionaron para su sustitución corresponden al HCFC22, HCFC-141b, HCFC123, HCFC124 y HCFC142b; de las cuáles únicamente el R-22 está aún en un uso por diversos equipos en el cantón de Belén. La siguiente figura muestra el listado de refrigerantes encontrados, donde se destaca el R-134a por ser el más utilizado.

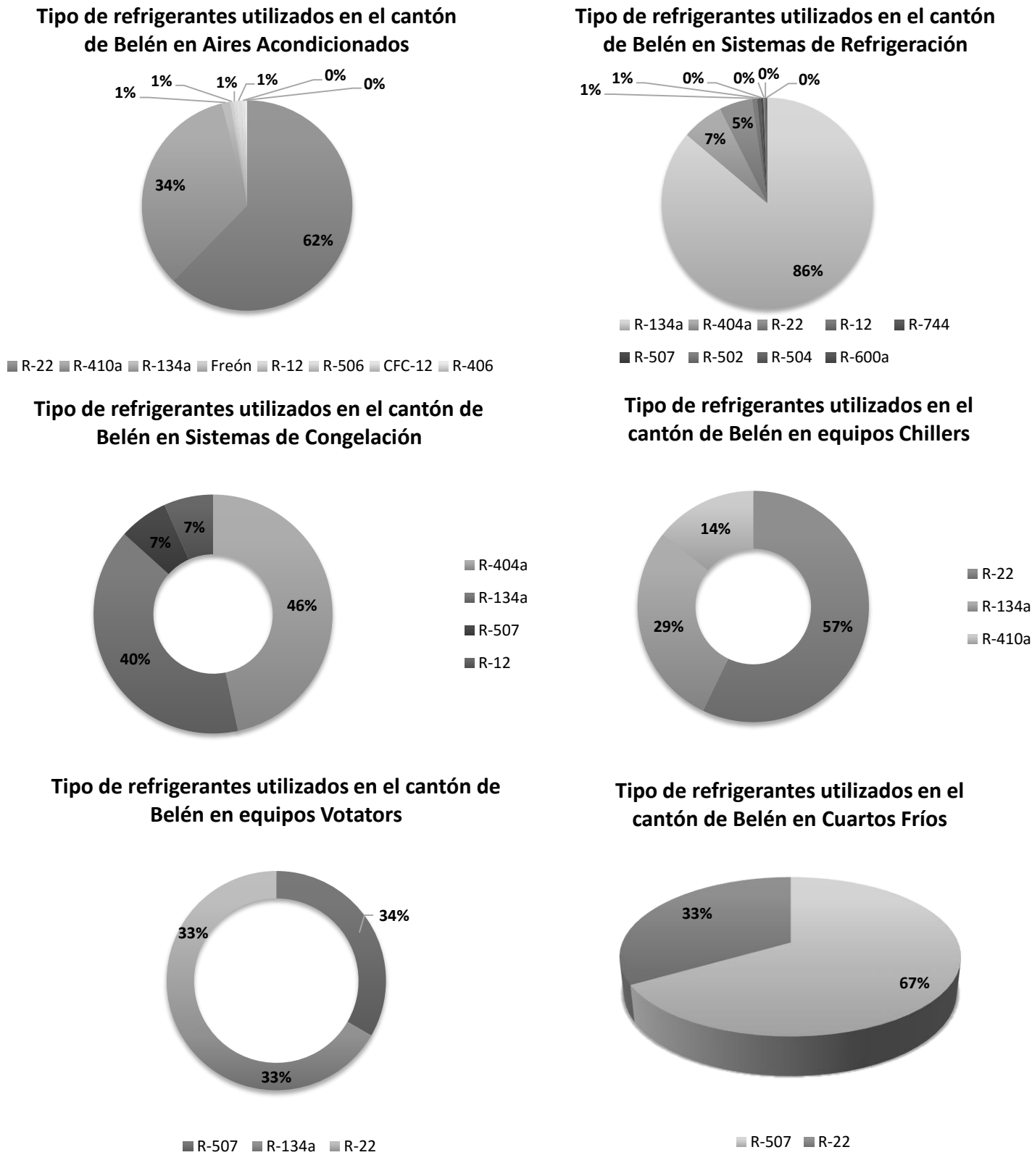

Figura 22. Clasificación de SAO utilizadas por los dispositivos instalados en Belén.

Si se compara el listado de las sustancias encontradas con la figura 23, se puede identificar que se han comenzado a realizar cambios en el uso de refrigerantes. Ya que aquellos que están en el eslabón superior son los que se buscan sustituir por su alta contribución a la destrucción de la capa de ozono; mientras que los marcados con amarillo, celeste y azul son contribuyentes intermedios y, finalmente los seleccionados en verde y blanco, son los ideales ya que son considerados como naturales y su aporte de destrucción es casi nula o mucha más baja que sus predecesores.

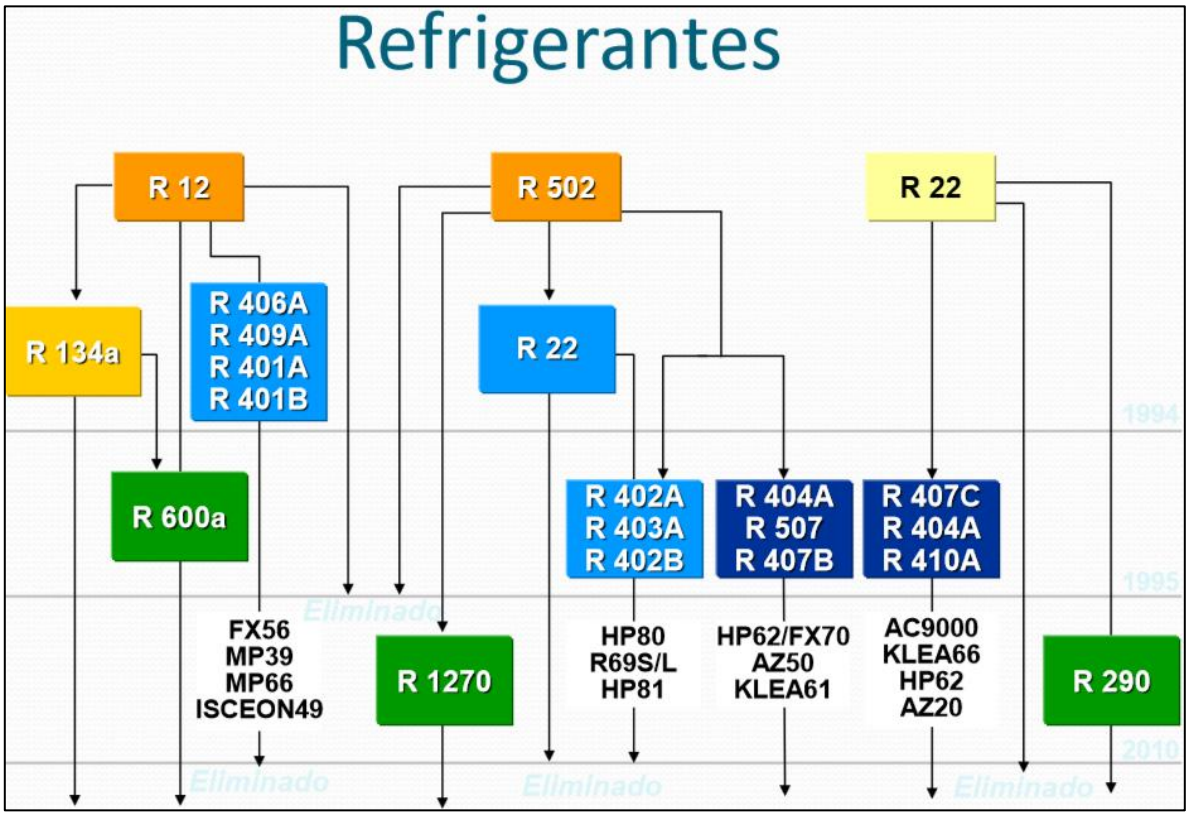

Figura 23. Evolución de susitución de refrigerantesen virtud del Protocolo de Montreal.
Fuente: Del Castillo 2012.

4.2 Propuesta de prácticas ambientales y tecnologías más limpias para la reducción de emisiones

4.2.1 Principales fuentes

En este capítulo se abordarán diferentes formas que se pueden adoptar a nivel cantonal para reducir las emisiones de GEI, pero se habrán de presentar común mayor prioridad el sector energía y el de manejo de residuos. La razón se debe a que el primero abarca el transporte, el cual siempre es un tema de conflicto y es el mayor generador, el segundo por su aporte significativo al inventario y porque es en el que más oportunidades de tomar medidas existen.

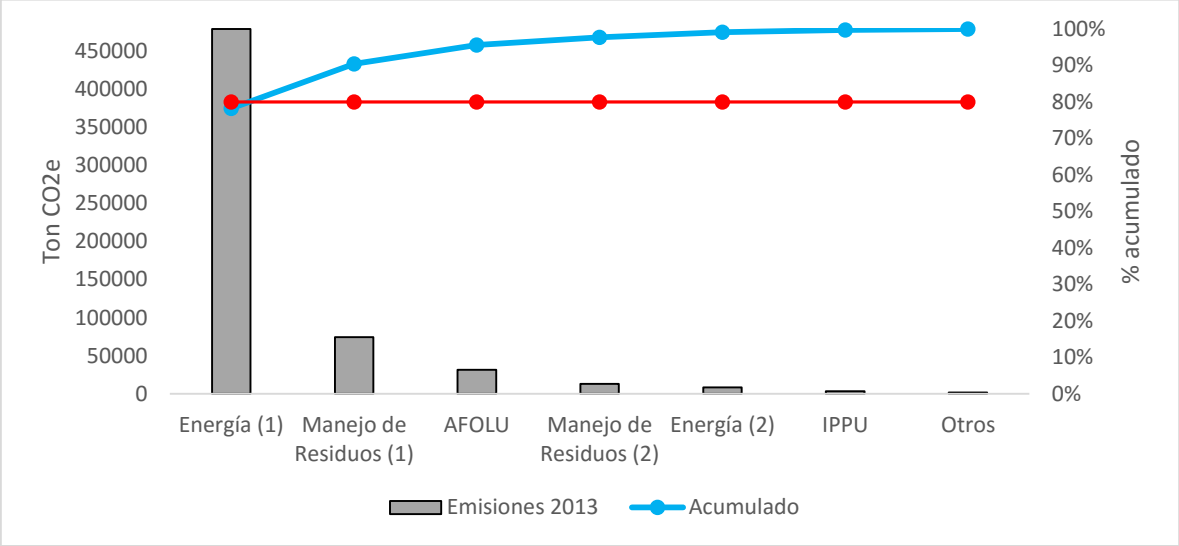

Figura 24. Diagrama de Pareto con las emisiones del cantón de Belén.

La figura 24 permite identificar dentro de las emisiones totales cual es el sector con mayor necesidad de actuar para reducir las emisiones. De modo que si se elaboran acciones en temas de transporte el posible porcentaje de reducción sea mayor al 80% de las emisiones directas totales.

Por lo tanto el gráfico ayuda a confirmar el tipo de acciones que se deben tomar en cuenta dentro de la propuesta para el sector transporte de forma que se pueda garantizar una reducción visible y real de las emisiones generadas por el Cantón de Belén. No obstante el sector residuos también es incluido debido a que si bien no representa un porcentaje acumulado mayor al 80%, la Municipalidad de Belén tiene dentro de sus planes de acción este sector como uno de los prioritarios.

4.2.2 Estrategias para la sensibilización, interpretación y educación del público meta

Sensibilización | Interpretación | Educación

Los países firmantes del acuerdo de París están en la obligación de adoptar medidas que capten la atención de las persona en materia de cambio climático, así como facilitar el acceso a la información que respecta a este tema. Por lo tanto los países se encuentran en el deber de aplicar una estrategia de sensibilización ambiental que refleje la importancia de la participación de los actores sociales como impulsadores en la reducción de GEI.

Lo anterior constituye un mandato obligatorio establecido en el art 12 de dicho acuerdo, es por esta razón que el tema de sensibilización es un eje transversal en todos los apartados contenidos por esta propuesta que a su vez se caracteriza por englobar los aspectos de educación y concientización ambiental.

Para el caso del presente proyecto se hace de importancia resaltar la sensibilización pública a nivel local, por ser en cierto punto la forma más directa y pertinente en que llega la información a los habitantes de una región, principalmente por el hecho de que el material a preparar será pensado para ser difundido en la comunidad (MAPAMA 2016).

Como consecuencia a lo anterior es necesario conocer las herramientas que se han de utilizar para preparar y presentar la información a un público meta, en este caso la educación y la interpretación ambiental son términos que se hacen tangibles a la hora de sensibilizar a una población, teniendo en claro ambos aspectos se asegura el transmitir el mensaje a la audiencia (MAPAMA 2016).

- **Acciones de sensibilización**

La sensibilización conlleva una correcta divulgación por parte de los generadores de información, que en este caso se puede entender como las Comisiones de Cambio Climático. Se debe evitar conformarse con los resultados obtenidos por cada proyecto realizado, su papel en este campo va más allá por lo cual se hace necesario crear material, estrategias o formas de comunicar sus alcances con el fin de involucrar cada vez más a los habitantes (MAPAMA 2016).

Las iniciativas en esta área se abordarán según la población meta, en donde la capacitación social será pilar en la lucha para mitigar las emisiones, esta nos permite conocer el grado de información que la población posee y prepararnos con el material pertinente para difundir la información (MAPAMA 2016). A continuación se resumen otras formas de divulgación:

Cuadro 18. Opciones de sensibilización a nivel cantonal.

Iniciativa	Descripción
Conversatorios, CineForo, Charlas, Exposiciones,	Permite acercarse a los habitantes de una forma más directa. Usualmente se escoge un tema específico que tenga relación al CC y relevancia para la comunidad. La idea principal es no solo transmitir un mensaje sino dejar al ciudadano expresar su visión u opinión sobre el tema, con el fin de tomar en cuenta su criterio para mejorar ese aspecto en el cantón.
Información en redes sociales, periódicos, programas de radio o televisión.	Muchas veces tan solo se necesita creatividad e ingenio para captar los medios estratégicos en los cuales a las personas les llega la información, como lo puede ser un periódico local o la página oficial de la Municipalidad, así como programas de opinión en el radio y televisión.
Campañas educativas, visita de actores sociales estratégicos.	Las campañas deben ser creativas y dinámicas así como versátiles en donde se puedan utilizar para públicos metas de varias edades, nivel social, entre otras. También deben estar enfocadas a la problemática que se quiere abarcar. Ejemplos: Campañas de siembra de árboles, ahorro de electricidad.

Iniciativa	Descripción
Voluntariados, alianzas con empresas.	En la mayoría de los casos el nivel empresarial aporta una cantidad considerable de emisiones, por lo tanto es necesario actuar en conjunto con este sector y una alternativa es por medio del voluntariado, en donde se pueden mencionar siembra de árboles, limpieza de ríos. Asimismo se pueden implementar campañas de reducción de emisiones dentro de las empresas.
Creación de herramientas virtuales.	Actualmente existen páginas que permiten no solo calcular la huella de carbono, sino llevar un registro de las actividades diarias para así determinar los puntos clave en donde sería posible disminuir las emisiones. Al crear una herramienta como esta, una Municipalidad podría generar su propio registro de emisiones facilitado por los ciudadanos.
Otros, intervenciones urbanas.	Lo importante es llamar la atención de las personas, así que utilizar medios novedosos para transmitir un mensaje es una alternativa a considerar, algunos ejemplos son intervenciones artísticas, ferias ambientales, cleteadas recreativas, entre otros.

Fuente: OECC 2008.

Sensibilización | **Interpretación** | Educación

Es un reto y responsabilidad de los investigadores crear información que pueda ser entendida y utilizada por los vecinos del Cantón, de esta forma la interpretación ambiental se convierte en una herramienta. Lo que se quiere decir es que los datos que se generen en la estación o en estudios similares al inventario deben ser presentados de una manera interesante, haciendo ver a los pobladores la utilidad de la información. Esto aumenta la sensibilización y crea un sentimiento de pertenencia (Fallas y Fernández. s.f.).

Para asegurar una correcta interpretación, esta debe cumplir con las siguientes características:

- **Amena:** Mantener la atención de las personas por la información y la asistencia a reuniones, evitando las rutinas. Implica motivar a los asistentes para que sigan actuando a favor de la reducción de emisiones y otros temas ambientales.

- **Pertinente:** Cada nuevo dato o actividad que se realiza debe ser presentado de forma que los habitantes puedan visualizar en su vida diaria. Es aquí en donde deben surgir a las asistentes preguntas de: ¿para qué me sirve saber esto? ¿Cuál es el impacto futuro a mi persona? ¿es importante para mi familia? ¿la solución está en mis manos?
- **Organizada:** Es recomendable estructurar la información en cinco ideas principales y de ahí desarrollar el tema, de esta manera se evita una saturación que pueda conllevar a la pérdida del interés o la comprensión.
- **Tiene un tema:** Es el punto inicial de partida para el expositor, se considera como la base o el mensaje a transmitir.

Sensibilización | Interpretación | **Educación**

A la hora de crear una estrategia de educación ambiental se debe tener en cuenta la utilidad de esta herramienta para generar cambios en el comportamiento de la sociedad, que se enfoquen en disminuir las emisiones o bien en la búsqueda de opciones para adaptarse a los cambios.

Una comunidad educada implica un número de actores cada vez más grande, que conocen la realidad que los rodea y se preparan ante cualquier eventualidad que el cambio climático pueda traer. Asimismo lo anterior implica disminuir la dependencia que existe actualmente con los expertos.

Durante las últimas tres décadas estos han hecho su papel de proveer información a la comunidad internacional acerca de las consecuencias del cambio climático por lo que la posición de receptores pasivos ha cambiado a una en que se demuestra y pone en práctica lo aprendido de la experiencia acumulada de los científicos.

En este punto es importante aclarar que no se refiere a una disociación entre comunidad científica y, sociedad al contrario es promover el uso de la información y herramientas generadas por el primer grupo para actuar. Lo anterior se puede desarrollar por medio de un monitoreo ambiental basado en la comunidad, en donde se sistematicen las experiencias de los ciudadanos.

Monitoreo ambiental: actividad que describe el estado y tendencias del ambiente a largo plazo, mediante la sistematización de las experiencias. Se considera como base para solucionar problemas y conflictos.

Los monitoreos ambientales deben tener como objetivo principal describir las condiciones climáticas a lo largo de un período de tiempo establecido. Un proyecto de este tipo permite acercar a la comunidad con la realidad climática y con los cambios en el ambiente a lo largo de periodos de tiempo que usualmente no son percibidos hasta que las consecuencias presenten impactos directos o a mayor escala (García 2016

Por ende un monitoreo implica prever los riesgos y actuar sobre estos antes de que se lleguen a convertir en amenazas para el ser humano. Caso contrario sucede con la mayoría de estudios de mitigación y adaptación en donde se parte desde el problema ya generado.

Principales aspectos de un monitoreo climático basado en la comunidad

- Proceso que convierte a las personas en observadores de las condiciones climáticas de una región, con el fin de establecer una vigilancia y alerta temprana de cambios severos en las condiciones normales.
- La información es obtenida por los habitantes por lo que conlleva un mejor entendimiento de esta, desarrollando la capacidad de discernimiento y criterio técnico necesario a la hora de tomar decisiones.
- La información tiene un nivel técnico que es entendido y manejado por las personas no profesionales.
- Permite conocer el posible impacto de los efectos del cambio climático a nivel local y de aquí partir para el desarrollo de estrategias.

Partes de un monitoreo

El primer paso es establecer cuáles serán las estaciones climáticas. Como es posible apreciar en la siguiente imagen, la complejidad determinará el tipo de estación. Aun así se recomienda iniciar con una Pluviométrica e ir subiendo su complejidad una vez la comunidad se haya adaptado a los instrumentos. De igual manera se han de ubicar en un lugar donde no exista mucho tránsito de personas pero a su vez que sea de fácil acceso y cercano al lugar de residencia del observador asignado.

Estaciones Pluviométricas	Estaciones Termopluviométricas	Estaciones Climáticas Ordinarias
•Son las más sencillas •Solo monitorean la cantidad de agua caída.	•Como su nombre lo indica están estructuradas para medir lluvia y temperatura.	•Son más complejas, se monitorean más de dos elementos del clima. •Tienen más equipos.

Figura 25. Diferencias entre las estaciones de monitoreo ambiental.

Una vez decidido lo anterior se debe capacitar a los habitantes que serán participes del monitoreo, principalmente se les debe enseñar dos cosas:

- Registro de las variables: se establece un horario con encargados de anotar los datos obtenidos en las estaciones, paralelamente se les ha de enseñar la utilidad de la información que están generando, mostrando ejemplos prácticos y aplicables a la vida diaria.
- Utilización de los instrumentos y equipos: siempre es importante este aspecto ya que si los datos que se han de obtener quieren ser usados para toma de decisiones a nivel local deben ser lo más exactos y veraces posibles con el fin de evitar un error en la recreación de escenarios futuros. Igualmente se parte de la base que quienes han de recabar los datos no son profesionales por ende es posible que existan errores.

En el segundo paso se establece la elaboración de un registro, para lo cual se asignan responsables y los tiempos durante el día en que se apuntarán estos datos. Las personas que han de realizar esta labor deben saber usar los equipos.

En la figura 26 se resumen las principales variables a incluir en un libro de registro. El aspecto de precipitación también puede incluir una descripción de cómo fue el fenómeno y la duración del evento por ejemplo indicar si fue una llovizna, tormenta, granizo.

La temperatura corresponderá al reporte del promedio diario del dato máximo y diario de esta variable durante el día. De igual manera se puede agregar una descripción de la temperatura sentida por los habitantes del cantón, lo que respecta a olas de calor o frentes fríos.

La hora y fecha son datos que sirven principalmente para ubicar la temporada en que los eventos de dieron y poder compararlos con otros meses o años y de este modo visualizar un posible patrón de comportamiento. Por otra parte los eventos extremos se refieren a la descripción de inundaciones, sequías, erupciones, entre otros fenómenos que impacten a la comunidad. Por último se recomienda incluir los reportes del IMN a fin de comparar la realidad climática del cantón con respecto a los datos brindados para nivel nacional.

Libro de Registro

1. Precipitación: Dato de la cantidad en milímetros de lluvia.
2. Temperatura: Medición de máximos y mínimos.
3. Hora y fecha.
4. Eventos extremos.
5. Reportes hechos por el IMN.

Figura 26. Variables de un registro.

Importancia de la información obtenida

No se puede hablar de cambio climático sino se monitorea el clima. Tampoco de cómo adaptarse o mitigar sin un registro de las variables que ayuden a prever los posibles eventos. Esta información incluso puede tener influencia en el desarrollo de planes reguladores de un cantón ya que permite saber si una zona es o no recomendable para el desarrollo de una actividad específica.

Sumado a lo anterior, permite que los observadores tengan el conocimiento y las herramientas para aportar una perspectiva más real a la hora de tomar decisiones. Por lo que a corto plazo se convertirán en una fuente de consulta para casos decisivos relevantes al desarrollo del Cantón.

Por lo tanto, un monitoreo ambiental climático es un proceso que debe ir de la mano con una comisión de vecinos que este avalada por el gobierno local y ser un punto clave en la agenda de trabajo. Inclusive el equipo de trabajo puede conformarse con comités de atención de emergencia ya que los datos obtenidos pueden ayudar a prever cuáles serán las zonas que tendrán mayor afectación (Adapt-Chile 2015).

Por último cabe resaltar que las oportunidades en donde utilizar la información obtenida del monitoreo ambiental climático son muchas pero sin la participación de los ciudadanos y el apoyo de un Gobierno local la tarea sería casi imposible de realizar. A continuación se enlistan posibles opciones según Adapt-Chile 2015, en donde se podría utilizar lo recabado en el monitoreo:

- Estimaciones para la recuperación de mantos acuíferos ante una sequía.
- Recomendar diseños de construcción para la industria, comercio o residencias.
- Visualizar patrones de amenazas ambientales.
- Impulsar iniciativas o proyectos ambientales referentes al cambio climático, en conjunto con centros educativos, empresa privada, instituciones públicas, organizaciones, entre otros.
- Crear alertas tempranas ante eventos naturales y posibilidad de respuesta más rápida ante estos.
- Acceso a tecnologías y capacitaciones en materia de cambio climático.
- Financiamiento para proyectos o compra de equipo.

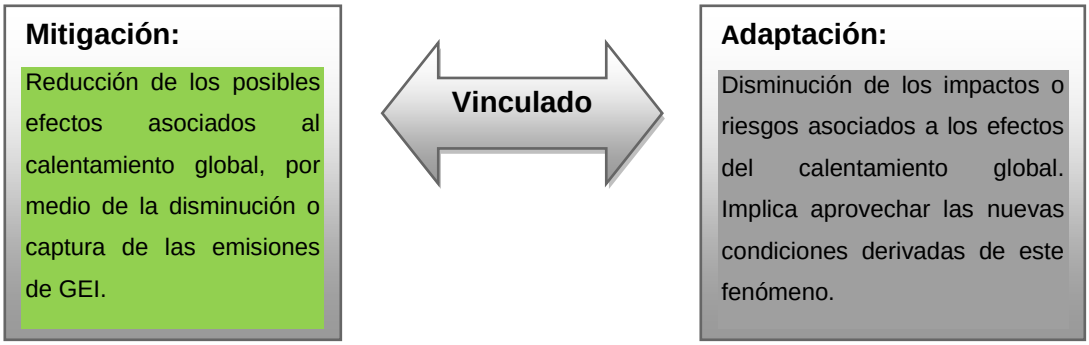

Figura 27. Ejemplos de información que debe ser abordada. **Fuente:** MAPAMA 2016.

4.2.3 Prácticas ambientales para la reducción de emisiones de los principales sectores

4.4.3.1 Sector Residuos

Bioenergía

A este concepto también se le denominar como La Energía de la Biomasa debido a que se obtiene de los desechos orgánicos de un proceso, es decir, de los residuos procedentes de la industria, la agricultura, componentes biodegradables, rellenos sanitarios entre otros; obteniendo como resultado una energía renovable. Tal es el caso de la biomasa, el biogás o el biocombustible (INE 2010).

Actualmente existen varias tecnologías de conversión de la bioenergía en electricidad siendo por el momento la biomasa en co-procesamiento con el carbón las más utilizada principalmente para el sector industrial debido a los bajos costos que implica y a la reducción tanto de emisiones de CO_2 como de otros contaminantes (INE 2010).

Adoptar este tipo de tecnología no requiere de un gran cambio en la planta generadora de energía. Normalmente el producto final de este proceso es capaz de mover una turbina o un motor, una vez haya sido convertido en gas.

La biomasa como fuente de energía se utiliza en calefacción, refrigeración, calor para procesos industriales, y generación de electricidad; asimismo tiene aplicaciones eléctricas y térmicas. Esta última hace principalmente referencia a procesos que requieran la energía para obtener calor como es el ejemplo de las calderas. Entre las técnicas utilizadas para obtener biomasa se pueden mencionar la pirolisis, la gasificación y la digestión anaerobia (Cerdá 2009).

Por otro lado, a nivel local, en los últimos años la digestión anaerobia ha sido la opción más utilizada por las municipalidades, pymes, granjas, ganaderías, entre otras para generar su propia fuente de energía a partir del gas que se genera en los biodigestores y que usualmente se le conoce como biogás (INE 2010).

Este gas es el metano, el cual también es posible obtenerlo de los rellenos sanitarios y puede ser utilizado como combustible, favoreciendo la reducción de las emisiones de CO_2 ya que se disminuye el consumo de combustibles fósiles. Así mismo el metano en un rellenos sanitario suele quemarse debido a que el dióxido de carbono tiene 21 veces menos PCG que el este gas. Siendo esta medida poco productiva pero efectiva en disminuir las emisiones (Flores *et al* 2008).

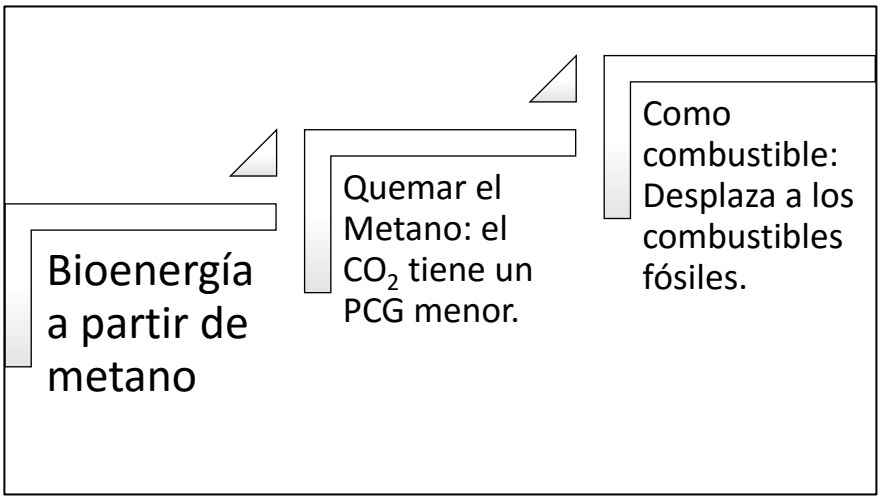

Figura 28. Aprovechamiento del metano.

De este modo, el biogás que se obtiene del metano puede ser utilizado en diferentes procesos y se puede obtener no solo a nivel municipal como en el caso de los rellenos sanitarios, sino también a escalas más pequeñas por medio de los biodigestores. El producto obtenido es posible utilizarlo como energía para calderas, motores, turbinas, entre otros (Flores *et al* 2008).

El sector industrial es un claro ejemplo donde se ha puesto en práctica una o varias de estas alternativas; en la actualidad a nivel nacional, varias empresas han empezado a utilizar calderas alimentadas parcial o totalmente con biomasa. Por lo que si se asume que en el cantón de Belén el 5% de las industrias se podrían acoger a sustituir el 40% del combustible en sus calderas de búnker por biomasa el potencial de reducción de las emisiones pasarían de 27 099 ton CO_2e a 18 799 ton CO_2e.

4.4.2.2. Tratamiento de los residuos

Las emisiones generadas por residuos pueden ser evitadas antes de que lleguen al relleno sanitario por medio de una correcta disposición y tratamiento. Un ejemplo es por medio del reciclaje; en donde no solo es posible apreciarla en la minimización de residuos, sino desde el momento de la producción ya que al disminuir la demanda también lo hará la energía y los recursos utilizados en la elaboración de un producto por lo tanto las emisiones se verán afectadas desde el inicio del ciclo de vida útil (INE 2010).

Del total de los residuos que terminan en un relleno sanitario o botadero al menos la mitad corresponde a orgánicos los cuales se caracterizan por generar metano y por ser materiales a los cuales se les puede dar un tratamiento con el fin de aprovecharlos como abono por medio del compostaje aeróbico de modo que no se conviertan en desechos del relleno sanitario.

La técnica mencionada en el párrafo anterior, es por hoy una de las alternativas al relleno sanitario por las que se está optando a nivel municipal, principalmente para bajar los costos de la disposición en dicho sitio. Pero a su vez permite disminuir la liberación de GEI a la atmosfera y contribuir a la huella de carbono de un cantón (Aguilar 2015).

La degradación de los residuos sólidos mediante el compostaje aerobio es llevado a cabo por microorganismos descomponedores que necesitan ciertas condiciones como temperatura, humedad y oxigenación para llevar a cabo este proceso bilógico. Otros factores que intervienen son el pH, la relación carbono/nitrógeno y el tamaño de la partícula (Aguilar 2015).

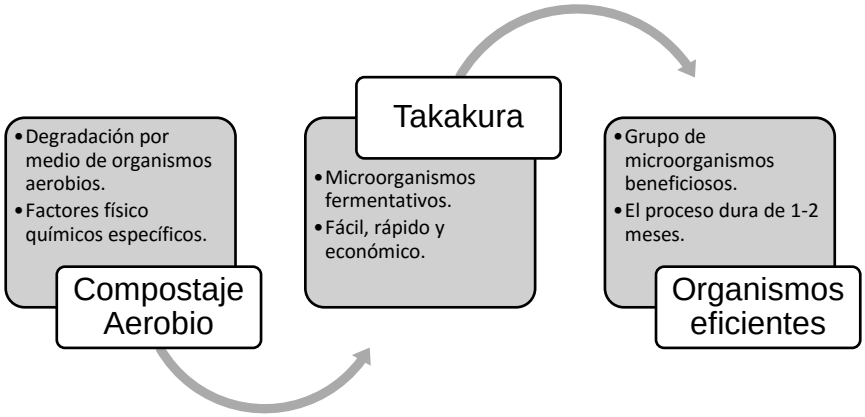

Figura 29. Tipos y derivaciones del compostaje aerobio.

En la figura anterior es posible apreciar las principales características del compostaje aerobio así como dos técnicas bastante recientes que se han derivado de este método, las cuales realmente son formas de mejorar el compostaje a través de la influencia de microorganismos.

La técnica con microorganismos mejorados es utilizada también para el tratamiento de aguas residuales y se considera como un mejorador de las propiedades del suelo. Igualmente el tiempo de descomposición es de 1 a 2 meses por lo cual es más rápida que el compostaje aerobio. Según Aguilar (2015) cada grupo de microorganismos cumplen una función diferente. Los principales microorganismos utilizados y la función que cumple cada grupo se resume a continuación:

- Bacteria ácido lácticas (*Lactobacillus*): Aparte de acelerar la descomposición, se utilizan para fermentar la celulosa y la lignina; así como combatir organismos perjudiciales del proceso.
- Levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*): fomentan el crecimiento celular y de las raíces por medio de las sustancias bioactivas.
- Bacterias fototróficas: Fijan el nitrógeno atmosférico y el dióxido de carbono a moléculas orgánicas.
- Actinomicetos: Aumentan la actividad microbiana del suelo por medio de la inhibición de hongos y bacterias patógenas.
- Hongos de fermentación: Son los encargados de que no se den malos olores al producir alcoholes y esteres.

En cuanto al método Takakura el tiempo de degradación es menor y se utilizan microorganismos que se obtienen en una fase previa conocida como fermentación, los cuales se encuentran presentes en productos tales como el yogurt, vino, hongos, y levaduras. Así mismo otros materiales necesarios para desarrollar la técnica Takakura son cascarilla o afrecho de arroz, paja. (Aguilar 2015).

Ambos métodos mencionados tienen la ventaja de que los materiales pueden ser obtenidos fácilmente implicando así una ventaja para poder adaptar estas técnicas a un nivel comercial o residencial.

Al respecto conviene decir que si se recolecta el 50% de los residuos valorizables por parte de la municipalidad se mitigarían 3849 ton CO_2 e, no obstante si se amplía la cantidad de orgánicos tratados ocasionaría un efecto contrario ya que se aumentaría en 77 tonCO_2 e.

Tratamiento de las aguas residuales

Las aguas residuales tienen un potencial bastante alto de producir metano debido a la descomposición de la materia orgánica, ocasionando el aumento de las emisiones en un inventario. Por esta razón el tipo de tratamiento que se les dé va a implicar un impacto en la cantidad de emisiones (IPCC 2016). Existen varias formas de disponer las aguas residuales, a continuación se resumen los más comunes en países en vías de desarrollo:

Cuadro 19. Medios de disposición de aguas residuales.

AGUAS RESIDUALES TRATADAS	
Tratamiento Anaerobio	**Tratamiento Aerobio**
Lagunas: Puede producir CH_4	Planta de tratamiento: Escasa producción de CH_4
Reactores: Fuente de CH_4.	Pozas poco profundas: Pocas probabilidades de producir CH_4.

AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS	
Recolectados	**No recolectadas**
Alcantarillado público: Se producen grandes emisiones de CH_4.	Tanque séptico
Disposición en cuerpos de agua: La producción de CH_4 es favorecida en lagos o zonas donde el agua no está en movimiento.	Disposición en cuerpos de agua

Fuente: IPCC 2016.

No obstante, si una planta aerobia está mal diseñada o no se opera correctamente llegará a liberar CH_4, durante el tratamiento de las aguas o por una mala disposición de los lodos. Este último aspecto es un punto crítico en el manejo de una planta ya que este desecho contiene grandes cantidades de material orgánico. Por lo tanto a la hora de plantear un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) aerobio se debe tomar en cuenta el manejo y disposición adecuada que se les dará los lodos, con el fin de no crear otra fuente de emisión de metano (GMI 2011).

En este orden de ideas se puede recomendar la instalación de una planta de tratamiento con condiciones anaerobias misma que permitiría la captura del gas metano y transformarlo en dióxido de carbono, y a su vez, tratar las descargas del 25% de las residencias del cantón; acción que podría ser incorporada en el Plan Maestro de la Recolección, Tratamiento y Disposición de las Aguas Residenciales del cantón de Belén 2012-2040, al disminuir de 69 387 ton CO_2e a 53 903 ton CO_2e.

Por otro lado, la categoría de tanques sépticos sufriría un cambio positivo, al plantear la eliminación de las descargas directas de aguas residuales residenciales a cuerpos de agua y pasarlas a un tratamiento tipo tanque séptico mejorado establecido por la Municipalidad de Belén. Asimismo el 25% de las viviendas que utilizan este tipo de tratamiento pasarían a la ampliación del servicio municipal de STAR mencionado anteriormente; acciones que generarían una disminución en las emisiones de 5 226 ton CO_2e a 3 694 ton CO_2e.

4.4.3.2 Sector Energía

Transporte

Las ciudades evolucionan rápidamente junto con el estilo de vida de las personas, haciendo que los procesos que se dan dentro de la localidad deban desarrollarse a una velocidad similar, de lo contrario comienza a fallar el orden y la dinámica. Un punto crítico en esta relación es el transporte.

Las deficiencias en el transporte público implican repercusiones ambientales y sociales. Mejorar la calidad del sistema de movilidad urbano es una necesidad a la cual los gobiernos deben poner mayor atención, para evitar los impactos tanto al ambiente como a la sociedad, debido a que la deficiencia en este campo no solo conlleva un aumento en los niveles de contaminación sino que favorece el incremento de la exclusión social al limitar el acceso a servicios básicos y oportunidades de empleo, afectando directamente los sectores de menor ingreso (Araya 2016).

Un aspecto a tener en cuenta es lo contradictorio que puede llegar a ser este sector en materia de GEI, usualmente el transporte público es utilizado por más personas, generando menos emisiones que las liberadas por los vehículos particulares donde la movilización de personas es mucho menor y a un impacto ambiental mayor (Páez 2015).

A partir de lo anterior, tendría sentido empezar a trabajar con el mayor problema: el transporte particular. Sin embargo se debe entender que hasta no mejorar la calidad del servicio público será bastante difícil disminuir la cantidad de vehículos privados en las vías. Por lo tanto ambos problemas han de trabajarse paralelamente si es que se desea obtener resultados reales (Araya 2016).

De igual forma, según Araya 2016 la reducción de emisiones se favorece con vías menos congestionadas y en buen estado principalmente porque el tiempo de permanencia de los vehículos disminuye. Esto implica que entre las posibles alternativas se deben contemplar aquellas que maximicen el tiempo de traslado. A continuación se presentan posibles proyectos o medidas que se pueden implementar para disminuir las emisiones del transporte, así como tecnologías modernas para la sustitución de combustibles contaminantes.

Sistemas integrados de tránsito

En los sistemas de transporte públicos existen puntos claves demandados por los usuarios y que permiten medir la evolución del sector con respecto al desarrollo de una ciudad: movilidad, seguridad vial, accesibilidad, sustentabilidad ambiental e inclusión social; de tal forma cuando se desee conocer el éxito alcanzado por una ciudad en tema de transporte es necesario ver los puntos como un conjunto (Araya 2016).

SIT: servicio urbano de movilización de pasajeros a través de la ciudad de una forma eficiente.

Puntos clave en un SIT

Movilidad: Diferentes opciones y tecnologías de transporte, conexiones interurbanas, carreras puntuales.

Seguridad vial: Calles en buen estado, señalización de tránsito.

Accesibilidad: Rampas en aceras y buses, asientos especiales para discapacitados.

Sustentabilidad: Modelos de vehículos recientes, cambio de combustibles fósiles.

Inclusión social: Horarios extensos y constantes, servicio a comunidades lejanas o aisladas.

Sin embargo; las necesidades de movilidad de los ciudadanos son constantes en el tiempo, ampliando la cantidad de usuarios a medida que la ciudad crece, igualmente aumentan las distancias recorridas por las personas para llegar a su destino principalmente en horas pico por consecuencia un SIT contempla la dinámica continua con el paso del tiempo (Páez 2015).

La implementación de este sistema ha significado un aumento en la eficiencia operativa y en la calidad del servicio brindado por las compañías de autobuses para ciudades alrededor del mundo en el 2013.

En donde la mayoría corresponden a países latinoamericanos, estas experiencias han demostrado que las inversiones en infraestructura de transporte público en conjunto con políticas regulatorias son más eficientes que el modelo usado actualmente en Costa Rica, el cual se enfoca en ampliar los carriles de las calles o autopistas (Campos 2004).

Un sistema de este tipo conlleva un cambio y educación tanto de las personas como los gobiernos en cuanto a materia vial y transporte público. Comprende de cinco puntos clave enfocados en indicar la forma de trasladarse del punto A al punto B de la forma más rápida y cómodamente posible. Sin olvidar el tipo de transporte, la facilidad de conectar diferentes rutas y la disminución de emisiones (Campos 2004).

Es así como este sistema promueve principalmente la mejora del sector público, proponiendo medidas para facilitar al ciudadano este proceso sin importar la clase social a través de una predicción del crecimiento de una ciudad. La flexibilidad de este método incluso permite ser usado en ciudades donde la flotilla vehicular que ingresa es flotante.

- **Pasos para implementar un SIT**

Según Campos (2004), la implementación de un SIT lleva un orden a seguir para lograr el éxito en la reducción de las emisiones, de tal forma a continuación se propone una secuencia de cómo se puede lograr llevar a cabo este proceso:

1. Conocer la evolución del desarrollo urbano:
Se debe saber cuál es la proyección a futuro de las actividades que se darán en la ciudad con el fin de elaborar un mapa de uso del suelo, por ejemplo si el área residencial aumentará o disminuirá, la cantidad de industrias, comercios o servicios que se brindarán, la expansión del área urbanística ante el declive de tierras para uso agrícola o forestal.
Esto permitirá brindar escenarios de la futura demanda vial y de transporte.

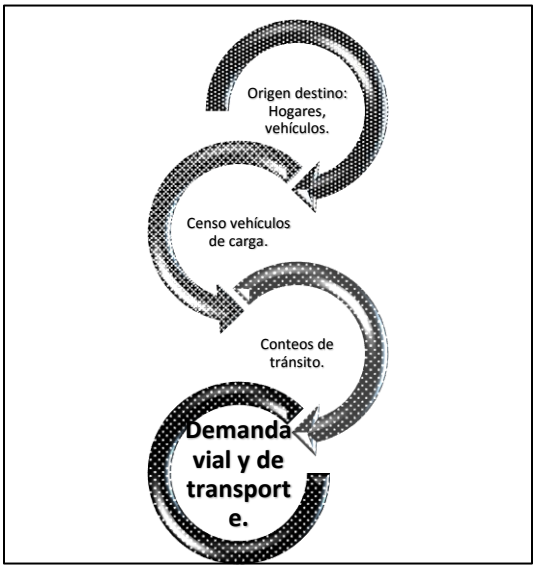

Figura 30. Componentes de la demanda vial.

2. Identificar el modelo de transporte: Principalmente consiste en realizar estudios de origen-destino dirigidos a hogares y vehículos que transiten por la ciudad. También es necesario hacer tanto conteos de tránsito como censos de vehículos de carga a fin de conocer la demanda actual de las vías y el estado del sistema de transporte.

3. Planteo de mejora del transporte: Conociendo las características de ambas demandas, será posible diseñar una estrategia adecuada para las condiciones y la complejidad del problema. Así mismo se establecen los responsables, patrocinadores, posibles alianzas, actores sociales y usuarios. Esto implica el diseño del SIT

4. Intervención del transporte urbano: No es realista cambiar de la noche a la mañana el sistema actual de una región pero si es posible lograrlo paulatinamente, entablando los diálogos con los sectores involucrados y haciendo participe del cambio a la ciudadanía. En esta parte se desarrollaran los proyectos obtenidos en el planteo, se trazan metas y objetivos de reducción sin olvidar elaborar una evaluación periódica de los resultados.

Iniciativas que comprenden un SIT

Los SIT pueden representar un gran cambio en la visión de ordenamiento vial, principalmente a nivel político ya que la reestructuración del transporte requiere un liderazgo por parte del Gobierno local quienes serán los encargados de aprobar y promover las iniciativas además de buscar el financiamiento necesario. A continuación se resumen iniciativas orientadas a bajar las emisiones de GEI que han resultado en otras ciudades, también funcionan como medidas para reducir el flujo vehicular. (Páez 2015)

1. Ciclovía

Actualmente la bicicleta es un medio de transporte promovido en ciudades desarrolladas como una forma de trasladarse debido a los impactos positivos en la salud y el ambiente. En estos países su uso ha ido ganando terreno por la conciencia ambiental cada vez más marcada y por la construcción de infraestructura adecuada a este medio de transporte. No obstante, en países en vías de desarrollo ha tenido una aceptación positiva principalmente por la facilidad que representa adquirir una bicicleta ante la compra de un vehículo (Páez 2015).

La construcción de una ciclovía debe ser entendida como un proceso que resguarde la seguridad de los ciclistas en el trayecto ante eventualidades como accidentes de tránsito y delincuencia; partiendo de una adecuada planificación en donde se demuestre un conocimiento de las condiciones geográficas del lugar por donde habrán de transitar los futuros usuarios (Acero *et al* 2015).

Ahora bien, un ciclovía no garantiza la reducción de carros y por ende las emisiones a menos de que la cantidad de personas que la utilicen tenga como fin principal el de trasladarse diariamente a su destino y no tanto a nivel recreativo. De esta manera surgen demandas en las condiciones y facilidades alrededor de una ciudad, tal es el caso de los estacionamientos para bicicletas, el alquiler accesible (Páez 2015).

Por lo tanto una ciclovía que tenga como fin primordial reducir emisiones, debe contemplar en su diseño alentar a la personas a no usar el carro mediante la conexión de trayectos entre ciudades con el fin de facilitar el uso de la bicicleta combinado con el transporte público. Un ejemplo sería ubicar la infraestructura en una terminal de tren o de autobuses (Acero *et al* 2015).

2. Promoción de medios y formas de transporte menos contaminantes

La demanda actual de movilizar cada vez más personas es un reto desde el punto de des-congestionamiento vial, principalmente porque con el paso de los años las distancias se acortan y la necesidad de recorrer trayectos cada vez más largos para llegar a un destino de trabajo va en aumento.

A raíz de tal circunstancia nace el concepto de carpooling. Este término se usa para describir la acción de compartir el carro con otras personas aprovechando así los espacios libres de un vehículo. Igualmente con el desarrollo de plataformas tecnológicas hoy en día es posible encontrar aplicaciones que conectan conductores con pasajeros potenciales.

El eje de este concepto recae en compartir un medio de transporte por personas que viajen hasta un mismo destino se comparten los gastos del recorrido y la comodidad facilidades que un carro puede ofrecer. Esta práctica recae dentro de lo que se conoce como transporte informal de personas y puede ser promovido en empresas, instituciones, organizaciones, entre otros.

3. Vehículos menos contaminantes

Actualmente en Costa Rica existe un programa para la adquisición de vehículos eficientes (PAVE) con el cual el MINAET, en conjunto con el BCR, INS y la Asociación de Importadores de Vehículos y Maquinaria (AIVEMA); pretenden disminuir las emisiones de CO_2 nacionales a través del financiamiento a particulares de vehículos eco-eficientes. Este programa es un esfuerzo más para alcanzar la meta del 2021 (MINAE 2016).

Ahora bien, a pesar de estar basado en las normas de eficiencia vehicular europeas no significa que se exijan los mismos valores en nuestra realidad nacional, ya que bien es sabida la gran diferencia entre ambas infraestructuras viales. Por lo tanto se ajustaron márgenes mínimos de rendimiento para los vehículos híbridos y de combustión interna (Ciudad: 13km/l, Carretera 17km/l, Combinado: 16km/l; o más), cualquier automóvil que cumpla con los valores mencionados entra en la categoría de financiamiento del PAVE (MINAE 2016).

El siguiente cuadro resume los modelos de vehículos financiables del programa, se presentan las marcas de mayor presencia en el país. La lista completa del PAVE puede ser consultada en las instituciones mencionadas anteriormente, la escogencia final quedará a juicio del propio comprador según sus necesidades y presupuesto. Se debe recordar que cada año se incluirán y descartarán modelos, propio de un proceso de actualización en las tecnologías y políticas de un país.

Cuadro 20. Resumen de los vehículos presentes en la lista PAVE.

Marca	Modelo	Rendimiento (Km/L)			Combustible	Cilin-draje (cc)	Emisio-nes	Tecnología
		Ciudad	Carretera	Combi-nado				
Toyota	Yaris Sedan	13	18	16	Gasolina	1500	183	Euro IV
Toyota	Prius	33	32	34	Gasolina	800	89	Euro IV
Hyundai	i20 Active	13	23	18	Gasolina	1400	185	Euro III
Hyundai	Grand i10 Hatchback B4S6K2615 GG037	18	24	22	Gasolina	1000	165	Euro III
Nissan	TIIDA	15	21	17	Gasolina	1600	151	Euro III
Nissan	SENTRA	16	23	18	Gasolina	1800	127	Euro III

Fuente: elaboración con datos de MINAE 2015.

Sin embargo, la lista del PAVE deja de lado los vehículos eléctricos. Las razones principales se deben cuestiones referentes a los impuestos de importación y a la falta de estaciones de recarga. No obstante debido a su reciente interés nacional por estas tecnologías se debe hacer un repaso con el objetivo de seguir informado sobre las ventajas de estas.

Así pues, los vehículos eléctricos no implican la liberación de GEI más allá de las generadas por las emisiones del consumo de electricidad a la hora de recargar la batería, que en el caso de Costa Rica es de generación hidroeléctrica en su gran mayoría. Es así como la cero emisión de contaminantes locales ha logrado poner a los autos eléctricos en el interés de los Gobiernos preocupados por reducir su cuota de CO_2 (INE 2010).

De modo similar los vehículos híbridos utilizan la energía eléctrica para funcionar pero se complementan con un motor a base de gasolina, mediante el cambio de uno a otro según las condiciones de la conducción. Como resultado cuando el vehículo viaje a velocidades bajas o empiece a acelerar se estará utilizando la parte eléctrica, pero si se aumenta la rapidez del recorrido pasara a funcionar el motor de gasolina y este dejará de funcionar una vez el auto este detenido. Por la razón anterior y debido a la infraestructura del país estos últimos son los idóneos (INE 2010).

Pese a las ventajas de ambos tipos de vehículos el INE (2010) reconoce la existencia de retos por asumir para estas tecnologías, algunos se mencionan a continuación:

- Costos de importación e impuestos elevados.
- Requieren más espacio.
- La batería los hace más pesados que un vehículo normal.
- Infraestructura para la recarga de baterías inexistente o mínima dependiendo de la región.
- Posible sobrecarga del sistema eléctrico.

4. Movilidad intermodal

Este concepto es relativamente nuevo y hace referencia a la optimización en la cadena de transporte, en donde se brindan varias opciones de traslado para diferentes rutas con el fin primordial de brindarle al usuario alternativas eficientes en comodidad, tiempo, dinero y accesibilidad pero enfatizando la oportunidad de que escoja la manera de trasladarse según sus preferencias.

En consecuencia, la Movilidad Intermodal (MI) es un ordenamiento del sistema de transporte ya que cada parte que lo conforma cumplirá una función específica y estará localizado en un lugar de manera estratégica para agilizar y facilitar el traslado de personas. Implementa un sistemas de este tipo conlleva tener una visión amplia de todos los puntos anteriores así como una voluntad política que esté dispuesta a invertir para crear la infraestructura que significa este concepto.

La MI es a largo plazo, una opción acertada para reducir las emisiones ya que potencializa el transporte público. Ahora bien se debe resaltar que un SIT y esta alternativa no son lo mismo pero están relacionadas debido a que el primero es a una escala mucho mayor y la MI vendría siendo solo una parte de dicho sistema (Páez 2015).

En general, la MI funciona por medio de lo que se podría denominar conectores entre rutas. Es decir un usuario tendría la opción de trasladarse a su lugar destino por diferentes medios, por ejemplo encontrar en la terminal del tren estaciones para el alquiler de bicicletas con una ciclovía que garantice el recorrido; o contar con el servicio de autobuses sincronizados a la llegada del tren.

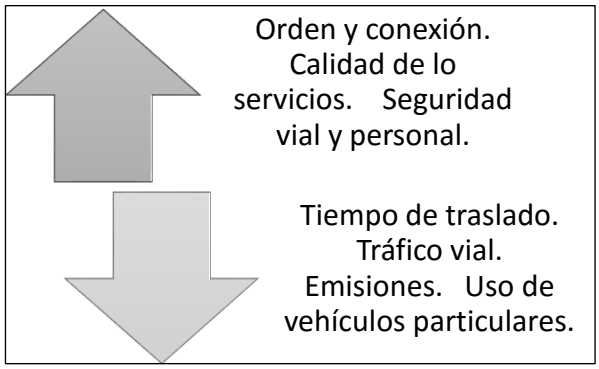

Figura 31. SIT vs sistema de transporte actual.

En conclusión lo anterior es tan solo un ejemplo de la manera en que se puede desarrollar la MI, la mejor forma de aplicar este concepto es adaptándolo a la realidad de la ciudad en que se desea implementar y al objetivo primordial que en este caso es la reducción de emisiones. Por lo tanto se debe orientar a la implementación de transportes con tecnologías más eficientes y menos contaminantes pero que a su vez garanticen el mayor traslado de personas en la menor cantidad de tiempo.

Biocombustibles

En la actualidad los biocombustibles con mayor aceptación son los que se encuentran en estado líquido como el etanol y el biodiesel debido a la practicidad que significa usarlos en vez de la gasolina o el diésel. Sin embargo también el metano y el hidrogeno son ampliamente aceptados y utilizados como fuente de energía en estado gaseoso.

Por otro lado, según el Instituto Nacional de Ecología de México (2010) es posible clasificar los biocombustibles en tres generaciones según la materia prima de la que estén hechos. Los de la primera provienen de cultivos agrícolas, como por ejemplo el maíz, pero existen sectores fuertemente en contra debido al desvío de recursos naturales para elaborar esta fuente de energía en vez de ser destinados a la alimentación de la población.

En consecuencia los de segunda generación tienen mayor aceptación al tener por materia prima productos derivados de la celulosa que pueden ser obtenidos de residuos (vegetales, madera, bagazo), aun así su aplicación y mejoras deben ser investigadas más a fondo representando una posible barrera para los países en desarrollo por el grado de inversión que significa llevar un estudio.

Por último, se encuentran los de tercera generación son biocombustibles obtenidos de aceite de algas marinas pero no han sido del todo promovidos por ser muy recientes (INE 2010). Lo cierto es que con tan solo un 5% de etanol a la mezcla de gasolina sería posible pasar de 382 851 a 19 143 ton CO_2e. Mismo caso sucede al sustituir el 15% de diésel por biodiesel en donde las emisiones disminuyen de 33 497 a 5 025 ton CO_2e.

4.2.4 Análisis de la reducción de emisiones

Tras analizar las opciones de reducción descritas y plantear en algunos casos la posible disminución de las emisiones para determinado subsector, cabe mencionar que el conteo total también se vería influenciado como se aprecia en el cuadro 20. Las emisiones del sector energía disminuirían en un 82% y por su parte las de manejo de residuos podrían reducirse en un 24%.Comprobando lo evidenciado en el Diagrama de Pareto.

Cuadro 21. Comparación de emisiones totales antes y después de las propuestas.

Sector	Emisiones del Inventario (ton CO_2)	Posibles emisiones (ton CO_2)	Porcentaje de reducción (%)
Energía	487 512	87 032	82
Residuos	87 683	66 896	24

Esto nos lleva a la información presente en la figura 32, donde se resume el potencial de reducción que sería posible alcanzar aplicando las medidas descritas en los respectivos subsectores, en comparación con las emisiones obtenidas en el inventario. Como se puede apreciar, si las aguas residuales que actualmente son descargadas a ríos se envían a tanque sépticos y a su vez, el 25% de estos sistemas se pasan a una planta de tratamiento anaerobia; es posible eliminar un 29%. Cabe señalar que en este escenario planteado se aprovecharía el metano con el fin de emitir únicamente CO_2e.

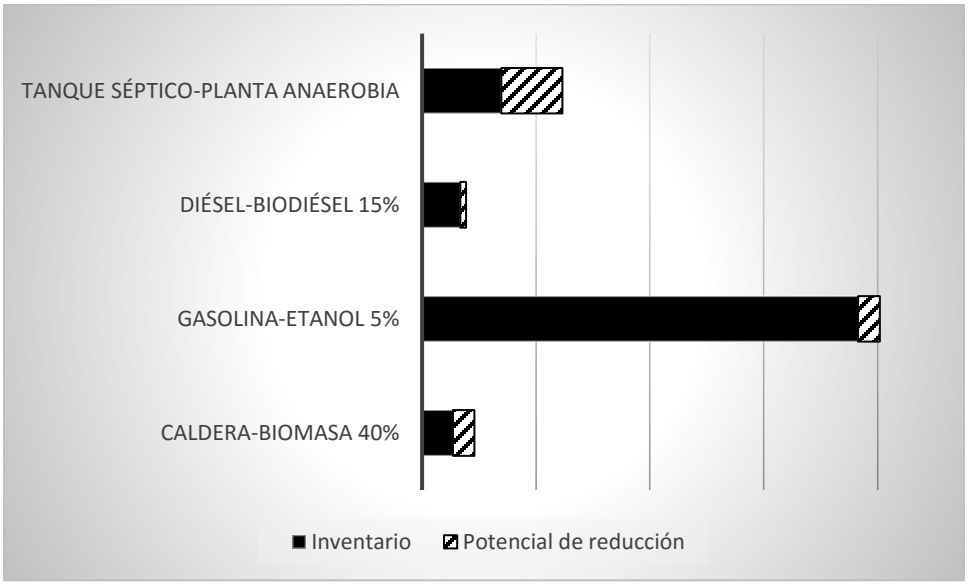

Figura 32. Emisiones del inventario vs emisiones del potencial de reducción.

Se planteó sustituir el bunker en las calderas de las industrias por 40% de biomasa y como resultado se obtuvo una posible mitigación del 31%. Es importante señalar que se deben realizar estudios más avanzados para determinar el impacto de esta tecnología en el ambiente ya que la quema de biomasa produce carbono negro, el cual se compone de material particulado (PM10). Además se le clasifica como uno de los cuatro contaminantes climáticos de vida corta y al igual que un GEI es acelerador del Cambio Climático. (OMS 2011)

Finalmente para el caso de las emisiones producidas por el tipo de combustible en carretera, la reducción se daría si se acoge lo planteado tanto en el Programa Nacional de Biocombustibles 2008 y en el Plan Nacional de Energía 2014-2018. Los cuales nos llevan a una reducción del 85%, si se sustituye una parte de diésel por biodiesel y de un 95% para el caso de añadir etanol en la gasolina. Ambos porcentajes hacen referencia a las emisiones del subsector. Estas estimaciones se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 22. Comparación de emisiones por subsector antes y después de las propuestas.

Propuesta de reducción Subsector	Inventario Ton CO_2	Emisiones mitigadas Ton CO_2	Porcentajes de Reducción (%)
Caldera Búnker-Biomasa 40%	27 099	18 799	31
Gasolina-Etanol 5%	382 851	19 143	95
Diésel-biodiésel 15%	33 497	5 025	85
Tanque séptico-Planta Anaerobia	5 226	3 694	29
Planta Anaerobia con Captura de CH_4	69 387	53 903	22

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los Gobiernos locales deben establecer el grado de importancia que tiene un inventario de GEI en la política de desarrollo de un cantón; esto implicará formular proyectos no solo de mitigación o adaptación, sino aquellos que impliquen la mejora en el monitoreo o en la búsqueda de nuevas metodologías.

Asociado a lo anterior sería posible reducir las emisiones si el concepto de cambio climático es insertado en la política del gobierno local, logrando en un futuro establecer una metodología municipal para la recolección de los datos de las industrias, en donde estás se vean en la obligación de facilitarlos.

Por su parte es destacable el esfuerzo del Gobierno Local por trabajar en las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que se convierte como iniciativa local para integrar todas las variables ambientales en el desarrollo cantonal, como lo es implementar mecanismos de monitoreo ante condiciones atmosféricas, recuperación de zonas de protección, mejora de la cobertura vegetal, gestión de políticas de desarrollo económico y crecimiento de infraestructura, participación de actores sociales, reforzar la proyección comunal en manejo de residuos y tratamiento de aguas residuales, entre otros.

Es importante recalcar la importancia de este tipo de investigaciones, ya que permiten crear políticas ambientales coordinadas entre los diferentes grupos sociales en las localidades; de manera que respondan a cambios que se pueden evidenciar allí mismo y así, contribuir a la meta de ser un país carbono neutral para el 2021.

La contribución de todos los participantes de la Comisión de Cambio Climático Cantonal facilitó la recopilación de la información en campo; ya que muchos de ellos asumieron el compromiso de compartir los datos de su empresa o bien, colaborar con la aplicación de las herramientas. Sin embargo, se identifica como aspecto de mejora, buscar el apoyo social en la contestación de las preguntas de manera más rápida y completa.

La aplicación de las encuestas, la consulta a fuentes primarias y la incorporación de criterio de expertos permitió la identificación y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del cantón Belemita; generando como principales sectores de emisión energía y manejo de residuos. Estos sectores identificados fueron seleccionados para el cálculo del potencial de reducción por medio de la aplicación de prácticas ambientales y tecnologías limpias que contribuyen a la reducción de emisiones.

Si bien la mayoría de las industrias no colaboraron con la determinación de las emisiones fue posible hacerse una idea de cuales tienen su propio inventario, lo que a largo plazo podría significar una participación en la realización de este tipo de estudios si se brindan los incentivos necesarios para que sean parte del proceso.

Para lograr una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero en el cantón, se requiere de un esfuerzo interinstitucional, en donde contribuyan con el uso de prácticas ambientales e instalación de tecnologías limpias; de manera programada pero constante, y en especial aplicables a los sectores de mayor emisión.

Al igual que en los inventarios nacionales o de organizaciones, las comparaciones con estos se pueden dar, siempre y cuando las metodologías sean las mismas. La evolución en el tiempo y en el conocimiento desarrollado, implicaría un recalculo de inventarios anteriores que no es objeto de este trabajo.

La importancia de considerar aspectos de costo-beneficio para las opciones de tecnología, son relevantes y ser el enfoque de futuros trabajos. Estos implican el uso de herramientas para la paridad o equivalencia de costos y/o energía que aportarían insumos interesantes para la toma de decisiones.

Finalmente, la guía propuesta permitirá actualizar los inventarios que se lleguen a realizar en el cantón de Belén, así como ser adoptado por otros cantones. Ya que incorpora la metodología utilizada en esta investigación tanto para la estimación de las emisiones, incertidumbre y control de calidad; además de consejos de gestión del inventario como la búsqueda de apoyo de actores sociales.

5.2 Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones para la adquisición de la información para las futuras actualizaciones de los inventarios de gases efecto invernadero a nivel local.

- Creación de enlaces en la Comisión de Cambio Climático cantonal, en la que cada empresa interesada deberá comprometerse a brindar la información adecuada y oportuna para las actualizaciones del inventario; así como incorporar a otras empresas vecinas o cercanas a su tipo de actividad.
- Continuar con la promoción de programas de cuantificación de emisiones como los son el Programa de Bandera Azul Ecológica y la Norma ISO 14064-1 a diferentes niveles sociales, con el fin de crear la cultura de registro de la información.
- Mantener una comunicación constante con la población belemnita y nacional sobre los proyectos planteados, avances y resultados; así como convocatorias en la participación de los mismos.
- Promover la competencia sana entre barrios, empresas, sector público y otros con el fin de integrar a mayor cantidad de actores sociales en el proceso de reducción de emisiones y mejorar la calidad ambiental cantonal.
- Queda pendiente para la Comisión de Cambio Climático la investigación sobre mecanismos de obtención de recursos económicos para la implementación de las prácticas ambientales y tecnologías más limpias propuestas en esta investigación; así como contemplar los posibles impactos ambientales secundarios que estas generen.
- Realizar la actualización de los inventarios cada tres años, permitirá evidenciar los cambios en las emisiones y comprobar la eficacia de las políticas implementadas. De esta forma se debe considerar mejorar la recopilación de la información a tiempo y de mayor calidad. Así como las posibles versiones actualizadas del Instituto de Recursos Mundiales o bien, quien establezca la Dirección de Cambio Climático adscrita al Ministerio de Ambiente y Energía.

6. Referencias

Acero et al. 2015. Procesos de participación ciudadana en la implementación de sistemas de movilidad urbana sostenible. (en línea) Consultado el 24 de septiembre 2016. Disponible en: http://ciclopart.redcimas.org/wp-content/uploads/2015/05/Informe-FINAL_BICIPART_Autores.pdf

Adapt-Chile. 2015. Manual de diagnóstico para la adaptación al Cambio Climático a nivel municipal. (en línea) Santiago, CH. Consultado el 15 junio 2016. Disponible en: http://latinclima.org/sites/default/files/documentos/manual_adaptacion_muncipios.pdf

Aguilar, A. 2015.Compostaje como tecnología para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el manejo de residuos orgánicos, San Rafael de Heredia, Costa Rica. Tesis Lic.Heredia, CR: UNA. Esc. de Ciencias Ambientales. 178p.

Allen, J. 2008. Proyecto de gestión y evaluación de la red vial cantonal de la Municipalidad de Belén. Informe Lanamme. San José, CR. 24 p.

Araya, M. 2016. El acuerdo de París marca un giro en la acción climática global y costarricense. Ambientico. 258(3): 17-23.

Araya, M. 2016. Transporte y Carbono: ¿Cómo medir el avance? (en línea) San José, CR. Consultado el 01 diciembre 2016. Disponible en: http://costaricalimpia.org/n15/transporte-y-carbono-como-medir-el-avance/

Arikan, Y. y Desai, R. 2012.Global protocol for community-scale GHG emissions -GPC- (en línea).Versión 0.9. WRI, C-40 e ICLEI. Sao Paulo, BR. 76 p. Disponible en http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/GPC%20v9%2020120320.pdf

Arroyave, J. y Garcés, L. 2007. Tecnologías ambientalmente sostenibles (en línea). Revista Lasallista de Investigación. Distrito Federal. MX. 1 (2): 78-86. Disponible en http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/513/1/pl_v1n2_78-86_tecnolog%C3%ADas.pdf

Asamblea Legislativa. 2002. Protocolo de Kyoto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, Ley 8219 (en línea). San José, CR. 15 p. Consultado 19 abr. 2014. Disponible en http://www.digeca.go.cr/documentos/legislacion/Ley%208219%20Aprobacion%20Protocolo%20Kyoto%20Cambio%20Climatico.pdf

Asamblea Legislativa. 2005. Aprobación del protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, Ley 7223 (en línea). San José, CR. 51 p. Consultado 19 abr. 2014. Disponible en http://www.digeca.go.cr/documentos/ozono/Protocolo%20Montreal%207223.pdf

Asamblea Legislativa. 2013. Proyecto de Ley Marco Cambio Climático. Expediente n° 18860. San José, CR. Consultado 23 feb. 2014. Disponible en http://www.conare.ac.cr/proyectos/18860.pdf

Astorga, A. 2013. Índices de Fragilidad Ambiental-Propuesta de zonificación de uso. Heredia, CR. Municipalidad de Belén. Escala 1: 10 000. Color.

Averchenkova, A. 2010. Los resultados de Copenhague: las negociaciones y el acuerdo (en línea). Nueva York, US. PNUD. 40 p. Disponible en http://www.undpcc.org/docs/Bali%20Road%20Map/Spanish/UNDP_BRM_Copenhagen_final_SP_web.pdf

Ávila, E. 2009. Análisis de los resultados del monitoreo y vigilancia de la calidad del aire en el cantón de Belén, año 2007. Trabajo de graduación para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental. Escuela de Ciencias Ambientales, UNA. Heredia, CR. 114 p.

B&A (Borge y asociados) 2013. Encuesta de opinión pública, cantón de Belén. (en línea) Consultado el 21 oct, 2014. Disponible en: http://www.belen.go.cr/images/PDF/concejo/encuesta2013.pdf

BAE (Bandera Azul Ecológica). 2013. Programa de Bandera Azul Ecológica de Costa Rica (en línea). Consultado 27 abr. 2014. Disponible en http://banderaazulecologica.org

BAE (Bandera Azul Ecológica). 2014. Informe de comités participantes en las categorías asociadas a cambio climático. ICE, AYA, AED y CO2. San José, CR. 5 p.

Bonilla, N. 2009. Manual de recomendaciones técnicas, cultivo de Maíz (en línea). San José, CR. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria –INTA-. 72 p. Consultado 06 de enero. 2016. Disponible en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00178.pdf

Bustamante, L. 2008. Análisis del contexto socio-económico en el cantón de Belén, Heredia y su incidencia en la problemática ambiental. (en línea). San José, CR. Escuela de Geografía, UCR. Consultado 06 nov. 2014. Disponible en http://es.scribd.com/doc/17917203/Analisis-del-contexto-socioeconomico-en-el-canton-Belen-Heredia-y-su-incidencia-en-la-problematica-ambiental

Campos F; Zúñiga M. 2011. Proyecto de investigación de la revisión del proceso de desarrollo local del Cantón de Belén: lecciones y retos que se desprenden de su historia reciente. Informe final. Costa Rica. 76p

Campos M. 1999. Escenarios de cambio climático. (en línea) Consultado 31 may. 2014. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/escenarios_climaticos_para_cr_1999.pdf

Campos, H. 2004. Una nueva relación urbana para el Gran Concepción: Proyecto de transporte intermodal Biovías. URBANO. 7(10): 61-67 (en línea) Concepción, CH. Consultado el 09 agosto 2016. Disponible en: http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/527/490

Candia, R. y Caiozzi, G. 2005. Intervalos de confianza (en línea). Revista Médica de Chile. Santiago, CL. 133 (9): 1111-1115. Disponible en http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872005000900017

Casaca, A. 2005. El Cultivo del Apio 1 (en línea). CR. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria –DICTA-. 11 p. Consultado 06 de enero. 2016. Disponible en http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/apio.pdf

CEDAN e INE (Instituto Tecnológico de Monterrey e Instituto Nacional de Ecología). 2010. Elementos técnicos para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático (en línea). Monterrey, MX. Consultado 15 jun. 2014. Disponible en http://www.cca.org.mx/lideres/cursos/cambio_climatico1/pdfs/m1/m1_vi.pdf

Cerdá, E. 2009. Energía a partir de biomasa. Cuadernos económicos de ICE. No 83: 117-140. Disponible en http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140__78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf

Céspedes, M. 2014. Situación actual del PMAS. (Comunicación personal). Heredia, CR. Municipalidad de Belén: Unidad de Alcantarillado Sanitario.

Céspedes, M. 2015. Tipo de sistemas de tratamiento de agua residual en el cantón de Belén (entrevista). Heredia, CR. Unidad de Alcantarillado Sanitario, Municipalidad de Belén. (alcantarilladosanitario@belen.go.cr).

Chacón, A *et al*. 2009. Inventario nacional de gases con efecto invernadero y absorción de carbono. San José, CR.

Chacón, A *et al*. 2012. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono, 2012. (en línea). Ministerio de Ambiente y Energía. San José, CR. 70 p. Consultado el 01 dic, 2016. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventariogei-2012.pdf

CMCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático). 2015. Acuerdo de París, No. 21930. Fr. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf

CNE (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, CR). 2000. Amenazas naturales del cantón de Belén. (en línea). San José, CR. MYRVYS, UCR, UNA, RECOPE e ICE. Escala 1: 10 000. Color. Consultado 05 nov. 2014. Disponible en http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/BELEN.htm

CNFL (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, CR). 2012. Guía de buenas prácticas ambientales para centros de trabajo (en línea). San José, CR. Consultado 27 abr. 2014. Disponible en https://www.cnfl.go.cr/pdf/DIRECCION_AMBIENTAL/Guia_Buenas_practicas_2012.pdf

Cruz, I. et al. 2017. Propuesta de procedimiento para el control de emisiones atmosféricas en ambientes urbanos. Revista Ingeniería Industrial. No.1: 2-16. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo;jsessionid=4B1E267A92E229483B46230B26B7DA2A.dialnet02?codigo=5013945

Cubberly, P. 2000. Contribuciones del fondo para el medio ambiente mundial al programa 21: el primer decenio (en línea). FMAM y GEF. JP. 58 p. Consultado 17 abr. 2014. Disponible en http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/GEF.Contributions.to_.Agenda.Spanish.pdf

Del Castillo, F. 2012. Refrigerantes naturales la alternativa. (correo electrónico). CO. SENA. (e-mail:fernandodelcastillo@misena.edu.co)

DINADECO (Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad). 2013. Función de las asociaciones de desarrollo cantonal. (en línea). San José, CR. Consultado 18 oct. 2014. Disponible en http://www.dinadeco.go.cr/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=5&fid=doc_digital&pid=9

Echeverría, J. 2011. Evaluación de la Vulnerabilidad Futura del Sistema Hídrico al Cambio Climático. (en línea). San José, CR. PNUD, IMN. Consultado 06 nov. 2014. Disponible en http://www.preventionweb.net/files/28416_evaluaciondelavulnerabilidadfuturad.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&client=ubuntu#18

Ellison, S.,Rosslein, M. y Williams, A (eds). 2000. Quantifying uncertainty in analytical measurment. 2ed. Eurachem y CITAC.UK. 126 p.

Fallas, Y & Fernández, M. s.f. Interpretación ambiental. (en línea) Guanacaste, CR. Consultado 01 noviembre 2016. Disponible en http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponenciaspdf/MariadelRocioFernandez.pdf

Fernández, J. 2015. Ciudades Inteligentes. Revista Economía Industrial. No 395: 71-28. (en línea) ES. Consultado el 24 setiembre 2016. Disponible en: http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/395/JM%20FERNANDEZ%20GUELL.pdf

Flores, R. *et al*. 2008. Estimación de la generación de energía a partir de biomasa para proyectos del programa de mecanismo de desarrollo limpio. Revista mexicana de ingeniería química. 7(1): 35-39. Disponible en http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v7n1/v7n1a5.pdf

GAIA (Alianza Global por Alternativas a la Incineración). s.f. Basura cero para calentamiento cero, declaración de GAIA sobre basura y cambio climático. (en línea) Consultado 20 nov. 2014. Disponible en http://www.no-burn.org/downloads/Basura%20Cero%20para%20Calentamiento%20Cero.pdf

García, A. 2016. Sistematización de experiencias: Monitoreo climático basado en la comunidad. (en línea). Managua, NI. Consultado 13 septiembre 2016. Disponible en https://www.humboldt.org.ni/sites/default/files//Monitoreo%20Clim%C3%A1tico%20Basado%20en%20la%20Comunidad.pdf

GMI (Global Methane Iniciative) 2011. El metano de las aguas residuales municipales: reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechamiento de oportunidades. (en línea) Consultado el 05 Jun 2017. Disponible en: https://www.globalmethane.org/tools-resources/index.aspx

González, M. 2016. Uso de cal y urea en el frijol (entrevista). Heredia, CR. Agricultor. (22934312).

Hernández, R. 2016. Uso de cal y urea en cultivos (entrevista). Heredia, CR. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (22376997).

Herrera, J. 2016. XII Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: informe final recurso hídrico y saneamiento, avances y desafíos. (en línea). San José, CR. Estado de la Nación. 40 p. Consultado 04 dic. 2016. Disponible en http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/022/Ambiente/Herrera_J_2016Recursos_hidricos.pdf

IMN (Instituto Meteorológico Nacional) 2013. Inventarios de gases efecto invernadero. (en línea) Consultado 20 abr. 2014. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/gases-efecto-invernadero

INE (Instituto Nacional de Ecología de México) 2010. Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. (en línea) Consultado el 17 de noviembre 2016. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia_metodologias_peacc.pdf

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2000. Sistema de Consultadas Redatam: Censo 2000 (en línea). San José, CR. Consultado 07 enero. 2015. Disponible en http://www.inec.go.cr/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=2000&MAIN=WebServerMain.inl

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2011. Sistema de Consultadas Redatam: Censo 2011 (en línea). San José, CR. Consultado 07 enero. 2015. Disponible en http://www.inec.go.cr/bincri/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=2011

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) 2011. Características demográficas. (en línea) Consultado 16 oct. 2014. Disponible en: http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) 2015. VI Censo Nacional Agropecuario (2014). (en línea) Consultado 21 ene. 2016. Disponible en: http://inec.cr/agropecuario?title=&shs_term_node_tid_depth=All&field_periodo_tid=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=

IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en línea). IGES. Ginebra, SE. Consultado 17 abr. 2014. Disponible en http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/

Iscoa, V. y Eguigure, J. 2013. Guía de buenas prácticas ambientales para el cultivo de palma aceitera en Honduras (en línea). Tegucigalpa, HN. SERNA, DECA y PRONAGRO. Consultado 17 abr. 2014. Disponible en http://www.coapalmaecara.com/files/GBPA%20Documento.pdf

Janssen, J. 2010. Evaluación del potencial de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y producción de energía a partir de rellenos sanitarios y vertederos en ciudades de Costa Rica (en línea). MX. CEPAL. Consultado 9 jun. 2014. Disponible en http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/9/38389/P38389.xml&xsl=/mexico/tpl/p9f.xsl&base=/mexico/tpl/top-bottom.xsl

Jara, A. 2015. Resultado del Plan Especial de Investigación de Valores de vehículos para la actualización de Ecuación de Valoración Utilizada en la Lista de Valores de Vehículos (PEIVAV). (en línea). MH.SVT-084-2015. San José, CR. 37 p. Consultado 15 may, 2016. Disponible en http://www.hacienda.go.cr/docs/5655f0b47f83f_Resultados%20del%20Plan%20investigacion%20de%20vehiculos%20valores%202015.pdf

Jiménez, E. 2012. Índice de competitividad cantonal. 2ed. Observatorio del desarrollo. San José, CR. 229 p

Jiménez, E. 2014. Proyectos ambientales y patentes de la Municipalidad de Belén. (Correo electrónico) Belén, CR. Departamento de gestión ambiental. ambiental@belen.go.cr

LAA (Laboratorio de Análisis Ambiental) 2009. Monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales del Cantón de Belén, Heredia. (en línea) Consultado el 15 nov 2014. Disponible en http://www.belen.go.cr/images/PDF/desarrollo_ambiental/observatorio%20ambiental.pdf

LAA (Laboratorio de Análisis Ambiental) 2010. Calidad del aire en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica 3° Informe de estado y tendencias. (en línea) Consultado el 15 nov 2014. Disponible en http://www.digeca.go.cr/documentos/aire/Tercer%20Informe%20de%20Calidad%20del%20Aire%20de%20la%20GAM%202010%20v2.pdf

Lupano, A. 2013. La infraestructura de transporte sostenible y su contribución a la igualdad en América Latina y el Caribe. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35883/S2013657_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2016. Biblioteca virtual 2014: Producción y protección vegetal, cultivos agrícolas (en línea). San José, CR. Consultado 06 enero. 2016. Disponible en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/biblioteca-index.html

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2014. Historia del MAG. (en línea). San José, CR. Consultado 18 oct. 2014. Disponible en http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/

MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). 2016. Educación, formación y sensibilización del público. (en línea). Madrid, ES. Consultado 15 agosto. 2016. Disponible en http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/educacion-formacion-sensibilizacion-del-publico/

Martínez, J. y Fernández, A. 2004. Cambio climático: una visión desde México (en línea). SEMARNAT e INE. MX. Consultado 09 mar. 2014. Disponible en http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf

Maslin, M. 2004. Global warming: a very short introduction. New York, US. Oxford University Press.162p.

Mata, R. 2016. Usos de Hexafluoruro de azufre en equipos de transmisión y distribución en el cantón de Belén. San José, CR. Técnico en transformadores, CNFL. (22951167).

Matarrita R. 2011. Capacidades productivas para generar y absorber riqueza: un enfoque territorial. Décimo octavo Estado de la Nación. San José, CR. Consultado 21 oct. 2014. Disponible en http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/018/matarrita_capacidades_productivas_enfoque_territorial.pdf

MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2010. Plan Nacional de Desarrollo: María Teresa Obregón Zamora 2010-2014. San José, CR. 256 p.

MINAE (Ministerio Nacional de Ambiente y Energía). 2016. Programa de adquisición de vehículos eficientes. (en línea) San José, CR. Consultado el 01 diciembre 2016. Disponible en: http://www.minae.go.cr/index.php/en/135-programa-de-adquisicion-de-vehiculos-eficientes-pave

MINAE-IMN (Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional). s.f. Escenarios de cambio climático en Costa Rica. (en línea) Consultado 31 may. 2014. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/escenarios_de_cambio_climatico_en_cr.pdf

MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2013. Plan de gestión para la eliminación de HCFC en Costa Rica 2013-2013. (en línea). San José, CR. 40 p. Consultado 01 dic, 2016. Disponible en http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/plan_de_gestion_para_eliminacion_de_hcfc.pdf

MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. 1 ed. San José, CR. Editorial Calderón y Alvarado S.A. 107p.

MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2012. Oficializar el Programa País Carbono Neutralidad. Acuerdo 36. La Gaceta. Diario Oficial (CR). May 21. 5p. Disponible enhttp://cambioclimaticocr.com/recursos/documentos/ALCA79_19_06_2012-AcuerdoProgramaPais.pdf

MINAET (Ministerio Nacional de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones); INCAE. 2012. Evaluación de necesidades tecnológicas ante el cambio climático. (en línea) San José, CR. Consultado 22 abr. 2014. Disponible en http://unfccc.int/ttclear/sunsetcms/storage/contents/stored-file-20130404174720415/Tecnologicas%20CC-Adaptacion-1.pdf

Miranda, F. 2012. Guía técnica para el manejo del cultivo de chía en Nicaragua (en línea). Sebaco, NI. Cecoopsemein RL. 14 p. Consultado 06 de enero. 2016. Disponible en http://cecoopsemein.com/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HISPANICA.pdf

Monzoni, M. 2010. Contabilização, quantificação e publicação de inventários Corporativos de emissões de gases de efeito estufa. (en línea) Consultado 25 abr. 2014. Disponible en http://ghgprotocolbrasil.com.br/arquivos/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf

Mora, J. 2016. Uso de cal y urea en el limón y naranja (entrevista). San José, CR. Feria del Agricultor de Tibás.

Morales, M. 2016. Uso de cal y urea en el chile dulce, berenjena y zuchinni (entrevista). Cartago, CR. Agricultora. (83499081).

Moukhallaleh, C. 2015. Análisis de emisiones de gases por fuentes móviles en las ciudades Alajuela, Cartago y Heredia. Trabajo de graduación Lic. San José, CR: UCR. Esc. Ingeniería Civil. 163 p.

Municipalidad de Belén. 2009. Historia del cantón. (en línea). Heredia, CR. Consultado 25 sept. 2014. Disponible en http://www.belen.go.cr/index.php/canton-de-belen-2/historia.html

Municipalidad de Belén. 2012. Plan Maestro de la Recolección, Tratamiento y Disposición de las Aguas Residuales del cantón de Belén (PMAS). (Panfleto informativo). Unidad de Alcantarillado Sanitario. Heredia, CR.

Municipalidad de Belén. 2013a. Pozos y nacientes del cantón de Belén. Área técnica operativa y de desarrollo urbano. Heredia, CR. Escala 1: 11 500. Color.

Municipalidad de Belén. 2013b. Conteos de flujo vehicular cantonal. Heredia, CR.

Municipalidad de Belén. 2014. Competencias y servicios de la Municipalidad de Belén. (en línea). Heredia, CR. Consultado 05 nov. 2014. Disponible en http://www.belen.go.cr/

Naciones Unidas. 1992. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (en línea). GE. Consultado 09 mar. 2014. Disponible en http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf

Oficina Española de Cambio Climático (OECC). 2008. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. (en línea) Madrid, ES. Consultado 01 agosto 2016. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/folleto_pnacc_tcm7-197102.pdf

Organismo Cristiano de Desarrollo Integral de Honduras (OCDIH). S.f. Guía técnica sobre cultivo de maracuyá (en línea). HN. 17 p. Consultado 06 de enero. 2016. Disponible en http://www.ocdih.org/web/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=20&Itemid=6

Organización Mundial de la Salud (OMS) 2011. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012. (en línea) Consultado 14 de febrero. 2018. Disponible en http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1

Otárola, M. *et al*. 2014. Informe final de resultados: estudio de caracterización de residuos sólidos para el cantón de Belén. Laboratorio de Análisis Ambiental, UNA. Heredia, CR. 71 p.

Páez, F. 2015. Sistemas Integrados de transporte. (en línea) Coyoácan, MX. Consultado el 24 de septiembre 2016. Disponible en: http://movilidadamable.org/sistema-integrado-de-transporte

POCH Ambiental. 2008. Inventario nacional de gases efecto invernadero, Chile. (en línea) Consultado 25 abr. 2014. Disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-50188_recurso_1.pdf

ProDUS-UCR. 2016. XII Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: informe final gestión de los residuos sólidos en Costa Rica. (en línea). San José, CR. Estado de la Nación. 87 p. Consultado 04 dic. 2016. Disponible en http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/022/Ambiente/ProDUS-UCR2016.pdf

Quevedo, F. 2011. Estadística aplicada a la investigación en salud. (en línea). CL. Consultado el 15 de mayo 2017. Disponible en: http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/sp/wp-content/uploads/2013/12/Quevedo-F.-Distribucion-normal.-Medwave-2011-May-1105.pdf

Quintero-Ángel, M *et al*. 2012. Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. Revista Luna Azul. No. 34: 257-271p.

Quirós, L. 2013. Belén: pequeño gigante en crecimiento. (en línea). Summa. San José, CR. Consultado 13 nov. 2014. Disponible en http://www.revistasumma.com/especiales/las-mejores-ciudades-en-la-region/40445-belen-pequeno-gigante-en-crecimiento.html

Rapp, D. 2008. Assessing climate change: temperatures, solar radiation and heat balance. California, US. Springer-Praxis books. 392 p.

Retana, J. 2008. Diagnóstico físico ambiental. Modificación Plan Regulador Cantón de Belén. INVU. Heredia, CR. 61 p.

Retana, J. 2008. Modificación Plan Regulador Cantón de Belén: diagnóstico físico-ambiental. INVU. Heredia, CR. 61 p.

Rodríguez, D. y Rodríguez, L. 2011. Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para la reducción de emisiones de CO2 equivalente para el cantón de San Rafael de Heredia. Trabajo de graduación Lic. Heredia, CR: UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 196 p.

Rodríguez, R. 2014. Inventario de emisiones-absorciones de gases de efecto invernadero en el sector forestal y uso del suelo (FOLU) del cantón de Belén para el periodo 2006-2013. Trabajo de graduación Bach. Heredia, CR: UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 57 p.

Rojas, W. 2016. Uso de cal y urea en el tomate y cebolla (entrevista). Heredia, CR. Agricultor. (83224248).

Ruiz, A., García, J. y Mesa, J. 2010. Error, incertidumbre, precisión y exactitud: términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico (en línea). Cícum. Jaén, ES. 8 p. Disponible en http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02_Ruiz_y_otros_Error_incertidumbre_precision.pdf

Salazar-Acuña, E. 2015. Inventarios de gases de efecto invernadero de las escuelas primarias de Belén, Heredia, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED. 7 (2):193-200.

Sales, M. 2006. Diagrama de Pareto. (en línea) Consultado 01 jun. 2017. Disponible en: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44144377/Diagramde_pareto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1496291670&Signature=eWKnHrhP4G%2BgJmDwHaeDoAPGLe8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDiagrama_de_Pareto.pdf

Secretaría del Medio Ambiente, MX. 2010. Inventario de emisiones de la zona metropolitana del valle de México: gases de efecto invernadero y carbono negro. Distrito Federal, MX. Consultado 22 abr. 2014. Disponible en http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/inventarios_emisiones2010/ieGEI10_.pdf

Secretaría del Medio Ambiente, MX. 2012. Inventario de emisiones de la zona metropolitana del valle de México: gases de efecto invernadero y carbono negro. Distrito Federal, MX.

Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano. 2013. Precipitación promedio anual (mm)- Plan GAM 2013. (en línea). San José, CR. IGN, MIVAH, CNFL, TEC, Plan GAM. Escala 1: 350 000. Color. Consultado 07 nov. 2014. Disponible en http://www.mivah.go.cr/Documentos/PlanGAM2013/03-CARTOGRAFIA/3_Ambiental/Precipitacion_Promedio_Anual.pdf

Skoog, D., West, D., Holler, F. y Crouch, S. 2010. Fundamentos de Química Analítica. 8ª ed. Santa Fe, MX, CENGAGE Learning, Inc. 1065 p.

TAA (Tribunal Ambiental Administrativo, CR). 2010. Manual de buenas prácticas ambientales en Costa Rica (en línea). TAA y MINAE. San José, CR. Consultado 27 abr. 2014. Disponible en http://www.amcham.co.cr/archivos/committee/378_manual_buenas_practicas_ambientales.pdf

UNED (Universidad Nacional a Estatal a distancia) s.f. (en línea) Consultado 21 oct. 2014. Disponible en http://www.uned.ac.cr/ifcmdl/attachments/article/215/CONTENIDO.pdf

Unfccc (Marco de las Naciones Unidas sobre la Convención de Cambio Climático). 2013. Comunicado de prensa: resultado de decisiones de la Conferencia sobre cambio climático de Varsovia (en línea). Varsovia, PL. Consultado 23 may. 2014. Disponible en http://unfccc.int/files/press/press_releases_advisories/application/pdf/pr20132311_cop19close_es.pdf

Unfccc, (Marco de las Naciones Unidas sobre la Convención de Cambio Climático). 2010. Comunicado de prensa: resultado de decisiones de la Conferencia de la ONU sobre cambio climático (en línea). Cancún, MX. Consultado 27 abr. 2014. Disponible en http://unfccc.int/files/press/news_room/press_releases_and_advisories/application/pdf/pr_20101211_cop16_closing_esp.pdf

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). S.f. Lección 6. Estimación de caudales residuales. (en línea). CO. Consultado el 15 enero. 2016. Disponible en http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_6_estimacin_de_caudales_residuales.html

US Government. S.f. Búsqueda de rendimiento por automóviles. (en línea). US Environmental Protection Agency. Consultado 16 may, 2016. Disponible en http://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=1984&year2=2014&make=Toyota&model=Van%204WD%20(cargo)&srchtyp=ymm

WBCSD (Concejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible), WRI (Instituto de Recursos Mundiales) y SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX). 2001. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: estándar corporativo de contabilidad y reporte (en línea). US. 138 p. Disponible en http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo_de_gei.pdf

Winiwarter, W. *et al*. 2006. Capítulo 6: Garantía de calidad/control de calidad y verificación. (en línea). IPCC. 32 p. Consultado 06 jul, 2016. Disponible en http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_6_Ch6_QA_QC.pdf

Zamora, A. 2008. Diagnóstico de infraestructura vial, peatonal, transporte y servicios públicos. INVU. Heredia, CR. 188 p.

7. Anexos