



Programa para mejorar la
CALIDAD DEL AIRE
en el Cantón de Belén
2012-2017



Programa para mejorar la
CALIDAD DEL AIRE
en el Cantón de Belén
2012-2017

Ing. Horacio Alvarado Bogantes
Alcalde Municipalidad de Belén

Licda. Sandra León Coto
Rectora Universidad Nacional

Lic. Esteban Ávila Fuentes
Coordinador de la Unidad Ambiental
Municipalidad de Belén

Dr. Jorge Herrera Murillo
Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental
Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional

Elaborado por el Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, en el marco del Programa Observatorio Ambiental, Municipalidad de Belén-Universidad Nacional

Presentación

Uno de los desafíos más grandes que nos planteamos en la presente administración, es lograr el equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de nuestros recursos naturales para el disfrute de las presentes y futuras generaciones, pero el reto no es fácil, hay que sortear, los rezagos históricos en donde la preponderancia del desarrollo económico prevalecía a pesar de la pérdida y disminución de la calidad de nuestros bienes naturales, como el caso de la calidad del aire que cada día se deteriora más debido al incremento de las emisiones de las fuentes móviles y de la propia industria. Los impactos de las emisiones no son solo locales, sino de alcance regional, debido a que la naturaleza no respeta las fronteras políticas, un ejemplo claro que las emisiones que se genera, si bien pueden impactar fuertemente en el cantón y la cuenca atmosférica, aportan al calentamiento global, tema que nos preocupa por los cambios climáticos y todas las implicaciones que estos conllevan.

Conscientes de esta realidad, la Municipalidad de Belén a través del Programa Observatorio Ambiental, desarrollado en forma conjunta con el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, presenta el primero de una serie de planes en materia de gestión ambiental derivados de los monitoreos sobre la situación ambiental del cantón realizados en forma consecutiva desde el año 2007.

El presente programa para la calidad del aire tiene por responsabilidad incorporar en todos los ámbitos de la sociedad y de la función pública, criterios e instrumentos que aseguren la óptima protección, conservación y aprovechamiento de nuestros recursos naturales, conformando así una política ambiental integral e incluyente dentro del desarrollo sustentable.

Este programa tiene como objetivo coordinar los esfuerzos de los dos niveles de gobierno (nacional y municipal) y la sociedad en general para lograr un desarrollo humano en equilibrio con la naturaleza, pero sobre todo, garantizar mejores condiciones de vida para los belemitas y un ambiente propicio para la preservación de la salud y el bienestar de la población. En este documento se incluyen los aportes de ideas del sector académico, industrial, gubernamental y no gubernamental con lo que se ha logrado un documento balanceado que cubre las expectativas del cantón de Belén.

Ing. Horacio Alvarado Bogantes
Alcalde Municipal

Índice

Sección	Página
Presentación	2
1. Belén y su entorno	4
2. Generalidades sobre la calidad del aire	7
3. Objetivos, metas y lineamientos estratégicos	26
4. Acciones Estratégicas	29
5. Referencias	41

1. Belén y su entorno

1.1. Geografía:

Belén es el cantón sétimo de la provincia de Heredia, ubicado entre las coordenadas geográficas medias $09^{\circ} 59' 14''$ latitud norte y $84^{\circ} 00' 38''$ longitud oeste. Posee una extensión territorial de 11.81 km^2 y según el último censo, Belén posee una población de 19 834 habitantes de los cuales un 49.4% son hombres y 50.6% mujeres. Su densidad es de 1632 habitantes por kilómetro cuadrado. Se localiza al norte del río Virilla y al sur del río Segundo, separado por una distancia aproximada de 10 km de la ciudad de San José, capital de Costa Rica, y a 4 km del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Belén limita al este con los cantones de Heredia y Flores, al norte y al oeste con el cantón de Alajuela, al sur con los cantones de Santa Ana, Escazú y San José.

La topografía del cantón es plana, el sistema fluvial del cantón de Belén, pertenece a la cuenca del río Grande de Tárcoles, es drenado por el río Bermúdez y su afluente la Quebrada Seca; así como por los ríos Segundo y Virilla, que son límites cantonales; posee una altitud promedio de 915 metros sobre el nivel del mar. Geológicamente esta formado por materiales de origen volcánico.

1.2. Condiciones Climatológicas:

Anualmente y en promedio para la zona se tienen pluviosidades de 2059 milímetros, en donde se refleja un marcado periodo seco que va de diciembre a marzo, con un promedio de precipitaciones para esos meses de 17,6 milímetros, para los meses de mayo y junio se presenta el primer pico fuerte de lluvias arriba de los 250 milímetros mensuales y ya en los meses de septiembre y octubre se presenta el periodo de mayores lluvias con promedios mensuales arriba de los 335 milímetros.

Los promedios mensuales de temperaturas, no presentan mayores rangos de diferenciación, así se tiene que la temperatura media mensual fluctúa entre los $22,4$ y $24,0$ °C, la mínima entre los $17,5$ y $18,4$ y la máxima entre los $27,1$ y $29,7$. Evidentemente, los menores rangos de temperatura tienen una relación directa con los vientos alisios provenientes del hemisferio Norte en época de invierno.

Los promedios mensuales de velocidades de vientos, igualmente guardan una relación directa con la influencia de los vientos alisios provenientes del hemisferio Norte, es así como se encuentran velocidades de 12,1 Km/h en el mes de septiembre y 26,1 Km/h en el mes de febrero.

Los promedios mensuales de humedad relativa son altos y van desde un 65% en la época seca hasta un 86%, en el mes de septiembre (Cubero, 2009).

1.3. Geología:

El cantón de Belén se localiza en el Arco Interno de Costa Rica; en el Valle Central; con base en Denyer y Arias (1991); las formaciones del subsuelo corresponden a unidades de roca de origen volcánico efusivo, las cuales estratigráficamente se han dividido en las siguientes formaciones geológicas:

- ***Formación Lavas Intracañón***

Se trata de por lo menos siete coladas de lava andesíticas que cerca del Puente de Mulas presenta una intercalación de 35 metros de un depósito de un flujo de bloques y cenizas, afloran solamente en los profundos valles de los ríos Virilla y Tiribí. Localmente presenta una intercalación de una toba de flujo brechosa (Miembro Puente de Mulas), el espesor total de la Formación Lavas Intracañón es de casi 100 m; (Kussmaul, 1994).

- **Formación Avalancha Ardiente**

Encima de las lavas intracañón yace una capa de pómez con un espesor máximo de 3 metros, producto de una gran explosión volcánica, seguido por depósitos de flujos piroclásticos con un espesor promedio de 45 metros. La base de esta formación está compuesta por una capa de pómez de caída de hasta 3 m de espesor, seguida por flujos de ceniza ricos en bombas escoriaceas, lapilli y clastos líticos.

- **Formación Lavas Pos-avalancha**

Con este nombre se denomina a varias coladas de lava y depósitos piroclásticos que se originaron en la Cordillera Volcánica Central y forman parte del grupo Volcánico Central; se considera que la mayor parte de los materiales de esta formación provienen del macizo del volcán Barba; (Echandi, 1981, en Denyer & Arias, 1991). Está compuesta por coladas de lava andesíticas y andesíticas basálticas con espesores que van desde los 10 m hasta los 80 con intercalaciones que van de

aproximadamente 10 metros de ceniza volcánica y ocasionalmente lapilli, (Denyer y Arias, 1991). La sección tipo está al sureste de la población de Barba de Heredia, en la margen izquierda de la quebrada Barba, (Gómez, 1984). Esta formación geológica se localiza en la parte norte del cantón de Belén; en donde afloran los frentes de coladas de lavas andesíticas de la parte inferior (Miembro Bermúdez); las cuales están cubiertas por tobas y cenizas meteorizadas.

1.4. Aspectos Socioeconómicos:

El uso de la tierra en Belén es bastante variado. Se encuentran zonas de residenciales, zonas industriales y hasta zonas de protección. Dentro de sus actividades económicas están la industrial, la turística y la comercial. Según datos de la Municipalidad de Belén, el cantón cuenta con 73 industrias, de las cuales 33 tienen un rango de empleados que va desde 250 hasta 2500. Además cuenta con al menos 326 comercios, varios hoteles grandes y pequeños, clubes privados y centros de recreación.

De acuerdo a la estructura productiva del cantón de Belén, se puede mencionar que de las empresas ubicadas en este municipio; el sector de comercio y servicios ocupa el 62,20% en comparación con el sector Industrial con un 30,71% y por último el sector agropecuario con un 7,09%; según información de la CCSS del 2006 (Municipalidad de Belén, 2007).

El cantón de Belén cuenta con la mayoría de servicios públicos. Además posee, según la Municipalidad, 7 398 km de carretera pavimentada y 2 km de carreteras lastreadas. La mayoría de su infraestructura vial se encuentra en buen estado, así como el alcantarillado pluvial. Entre los servicios públicos se encuentra el alcantarillado pluvial, acueducto municipal, recolección y tratamiento de basura, servicio de limpieza de vías y servicio de cementerio (Municipalidad de Belén, 2007).

De acuerdo con la Municipalidad de Belén, el cantón cuenta con un índice de desarrollo social del 94,9%, ocupando el segundo lugar en el país. Al compararlo con el resto de cantones de la provincia de Heredia se encuentra una diferencia de 23,5%. Su índice de pobreza, sin embargo, se encuentra en aumento.

2. Generalidades sobre Calidad del Aire

2.1. Efectos de los contaminantes

Por su origen, los contaminantes pueden clasificarse como primarios o secundarios. Los *contaminantes primarios* son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos, monóxido de carbono, entre otros). Los *contaminantes secundarios* se forman en la atmósfera por reacciones fotoquímicas, por hidrólisis o por oxidación (ozono, nitrato de peroxiacetilo, etc.).

Por el estado de la materia en el que se encuentran dichos contaminantes se clasifican como partículas o como gases. Las *partículas* son sólidos y líquidos finamente divididos que se pueden sedimentar, incluyen polvo, humo y cenizas. Los *gases* que incluyen también a los vapores, muchas veces son invisibles y a veces no se detectan con el sentido del olfato. Algunos de los contaminantes gaseosos más comunes son el monóxido de carbono, los hidrocarburos, el ozono, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre.

A diferencia de las partículas, los gases no sedimentan sino que tienden a permanecer en la atmósfera, y a transformarse en compuestos más simples o más complejos o a formar parte de los ciclos biogeoquímicos.

Los efectos que los contaminantes causan en la salud humana son diferentes y el grado de afectación puede variar dependiendo de la edad de las personas. A continuación se describen los efectos de algunos de los contaminantes criterio:

Ozono (O₃)

El ozono es el principal oxidante fotoquímico presente en la atmósfera, además del nitrato de peroxiacetilo, los alquil nitratos y otros compuestos más. En la naturaleza el ozono forma parte integrante de la composición química de la estratosfera, cumpliendo con la importante función de proteger a la superficie de la tierra de los rayos ultravioleta provenientes de la radiación solar. Sin embargo la presencia del ozono en la capa baja de la atmósfera (llamada troposfera),

donde se desarrolla la vida de la mayoría de los organismos se debe a la transformación que sufren los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno por medio de reacciones fotoquímicas. A pesar de que el ozono es un contaminante muy inestable, que se destruye con la misma facilidad con la que se forma, por breve que sea su permanencia, se ha demostrado a través de una gran cantidad de estudios, que es un agente irritante para el sistema respiratorio, que produce tos, flema, dolor al respirar e inflamación en el tejido pulmonar, reduciendo la capacidad de respuesta del mismo a agentes extraños. Además, reduce la capacidad respiratoria, disminuye también la capacidad mucociliar, lo que debilita las defensas naturales del aparato respiratorio. Por otra parte, se ha demostrado que las enfermedades respiratorias son más frecuentes en niños expuestos al ozono. Asimismo, se ha observado que durante episodios de contingencia ambiental con altas concentraciones de ozono, existe un incremento notable en el ausentismo escolar en niños a nivel preescolar y primaria (Romieu et al , 1995).

Gong considera que en personas saludables el ozono también causa problemas, pues hace que la respiración sea más difícil durante el trabajo y el ejercicio y causa irritación respiratoria general. Además puede marcar con una cicatriz los pulmones y causarles daño permanente. Se piensa que los síntomas de irritación tienden a desaparecer cuando se presentan exposiciones repetitivas al ozono. Sin embargo esta "atenuación de la respuesta" no es algo positivo, ya que el hecho de que no haya reacciones obvias a la exposición, no significa que el cuerpo se ha adaptado al mismo. Existen evidencias que muestran que la lesión pulmonar continúa aún durante la atenuación. Un problema importante en la contaminación por ozono es el hecho de que los pulmones no terminan su desarrollo sino hasta que el individuo ha cumplido 18 años. Por consiguiente, los pulmones aún no desarrollados sufren un daño temprano que puede aumentar el riesgo de contraer una enfermedad respiratoria en la vida adulta.

Partículas (PST, PM₁₀ y PM_{2.5})

Algunas de las acciones que dan origen a la contaminación por partículas son la destrucción de la vegetación, que a su vez causa la erosión del suelo; los incendios; algunos procesos industriales que generan gran cantidad de polvos; y actividades humanas que requieren la quema de combustibles como carbón, leña y derivados del petróleo. La inadecuada disposición de la basura al aire libre también son emisores importantes de microorganismos, quistes, esporas, polen, etc., que pueden estar adheridos al polvo. Tomando en cuenta lo anterior, es

necesario atacar estos problemas directamente para disminuir la contaminación por partículas suspendidas.

Dependiendo de su tamaño, las partículas pueden flotar o sedimentar. Las partículas que se mantienen flotando se conocen como partículas suspendidas totales o PST. Las partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 μm se conocen como partículas de fracción inhalable o PM_{10} , las cuales pueden estar formadas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoarios, bacterias, virus, hongos y polen que pueden causar diferentes tipos de enfermedades. Cuando las partículas son inhaladas no siempre son expulsadas por los sistemas de defensa del organismo, causando problemas en el sistema respiratorio.

La contaminación por partículas puede causar, a corto y a largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo cual contribuye a la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y a la muerte prematura. La exposición a PM_{10} ha generado una gran preocupación en los últimos años, ya que con mayor frecuencia aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de la fracción respirable y la mortalidad y morbilidad de la población. En forma consistente a través de muchos estudios se ha encontrado un 3% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} a partir del valor de la norma. Siendo la asociación más significativa con cánceres cardiopulmonares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que parece no existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud. Las asociaciones entre mortalidad y contaminación tienden a ser más fuertes cuando el parámetro a comparar son las partículas $\text{PM}_{2.5}$, también llamadas partículas finas o partículas de la fracción respirable. Estas partículas tienen una mayor penetración en el sistema respiratorio y por lo tanto son más dañinas a la salud. Por su tamaño (situación en el rango de longitud de onda de la luz) interfieren con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad. Un 40% de estas partículas son retenidas en los bronquios y en los alvéolos, causando síntomas respiratorios agudos, incluyendo cuadros severos de dolor y accesos de tos. Las partículas fracción $\text{PM}_{2.5}$ pueden ser emitidas directamente a la atmósfera o bien formarse en ésta como producto de reacciones fotoquímicas y procesos físicos.

Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que en su estructura química contienen carbono e hidrógeno. Muchos componentes de la gasolina y otros derivados del petróleo son hidrocarburos los cuales, por procesos fotoquímicos, reaccionan con los óxidos de nitrógeno para formar nitrato de peroxiacetilo y ozono, entre otros compuestos. Algunos tipos de hidrocarburos son tóxicos, otros no y muchos de ellos no representan un potencial significativo para afectar la salud en forma adversa; sin embargo, debido a que contribuyen a la formación de ozono, se consideran como contaminantes importantes.

Los hidrocarburos aromáticos son agentes cancerígenos potenciales. Existen estudios que indican que algunos de estos hidrocarburos se forman durante la combustión incompleta de casi cualquier material orgánico, incluyendo grasas, carnes, café, azúcar, hule y humo de cigarro. Las fuentes antropogénicas de hidrocarburos pueden ser variadas. El transporte emite una gran cantidad de ellos, en tanto que el consumo de combustibles en fuentes estacionarias ocupa un lugar secundario. Por último se encuentran diversos procesos como las prácticas agrícolas y los tiraderos de basura que también contribuyen a la generación de estos contaminantes. El transporte es considerado como la mayor fuente de emisión de hidrocarburos a la atmósfera debido a la combustión incompleta en los motores de los vehículos. Asimismo, las emisiones evaporativas en las maniobras de carga y descarga de combustible en gasolineras o en los grandes contenedores de almacenamiento contribuyen también a la emisión de hidrocarburos a la atmósfera.

Dentro de los hidrocarburos se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (COV) como el benceno, xileno, tolueno, etilbenceno, propano y aldehídos, entre otros, los cuales son importantes como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes; los compuestos orgánicos volátiles son motivo de especial preocupación debido a su alta toxicidad en los seres humanos. En los Estados Unidos, a pesar de que se realizan mediciones de COV en muchas ciudades, no constituyen por sí mismos un parámetro de calidad del aire, debido a la diversidad de sus especies, de sus propiedades tóxicas y de su alta reactividad. A pesar de las dificultades para el establecimiento de normas para COV, algunos de estos tóxicos como el benceno, el formaldehído, el acetaldehído y el 1,3-butadieno deberían analizarse periódicamente para identificar y prevenir problemas potenciales de salud ambiental.

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas sin color, sin sabor y sin olor, químicamente inerte en condiciones normales que, en bajas concentraciones, no produce ningún daño; sin embargo, en concentraciones superiores a la norma establecida para este contaminante, puede afectar seriamente el metabolismo respiratorio dada la alta afinidad de la hemoglobina por éste compuesto. Las emisiones de CO en un área cerrada pueden causar la muerte por insuficiencia cardíaca o sofocación, ya que la absorción de CO se incrementa con la concentración en el ambiente, con el aumento del tiempo de exposición y con el incremento de la actividad física. La exposición a bajos niveles de CO, también puede causar daño a la salud cuando las personas están bajo medicación, consumen bebidas alcohólicas o se encuentran en lugares altos. Se han realizado estudios que muestran que las concentraciones encontradas en microambientes como en las aceras de calles de tráfico intenso, o en el interior de vehículos son mucho mayores que las concentraciones detectadas en las estaciones fijas de análisis continuo. Esto significa que, a pesar de que no se exceda la norma a nivel de la estación, puede haber un número considerable de personas que se vean expuestas a niveles peligrosos de este contaminante tal como se comprobó en dos estudios intensos realizados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos, en las ciudades de Denver y Washington, D.C. (Akland et al, 1985).

Óxidos de azufre (SO_x)

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro, no flamable y no explosivo, con un olor sofocante y es altamente soluble en el agua. Puede permanecer en la atmósfera entre 2 y 4 días. Durante este tiempo puede ser transportado a miles de kilómetros y formar ácido sulfúrico, el cual se precipita en forma de lluvia ácida en alguna otra región lejos de su origen. El ácido sulfúrico, el bióxido de azufre y las sales de sulfato son irritantes de las membranas mucosas del tracto respiratorio. Incluso llegan a ocasionar enfermedades crónicas del sistema respiratorio como bronquitis y enfisema pulmonar. En una atmósfera con partículas suspendidas el efecto dañino de los óxidos de azufre se incrementa, ya que el bióxido y el ácido sulfúrico paralizan los cilios del tracto respiratorio, las partículas de polvo penetran en los pulmones arrastrando también los compuestos azufrados, originando entonces graves daños, e

incluso la muerte. Se ha comprobado que el componente ácido de las partículas estuvo implicado en la mortalidad de los episodios registrados en Londres en los años 40s y 50s.

En las plantas, el SO_2 ocasiona daños irreversibles en los tejidos, sobre todo en días soleados. Por otro lado, el ácido sulfúrico ataca los materiales de construcción como el mármol, la cantera, la cal y el mortero. Muchos de los monumentos, edificios, esculturas e iglesias se han deteriorado por esta causa. El ácido sulfúrico también daña las telas como el algodón, el lino, el rayón y el nylon. Las bibliotecas también tienen problemas a causa de este compuesto ya que las hojas de los libros se tornan amarillas, por la misma causa los artículos de piel se resecan y los metales se corroen.

La fuente principal de emisión de óxidos de azufre son los combustibles fósiles que contienen azufre. Por consiguiente, las fuentes fijas que consumen combustibles con alto contenido de azufre son la causa principal de la emisión de azufre a la atmósfera. La contaminación del aire tiene efectos globales y regionales, es decir, no se restringe únicamente a las grandes ciudades. La lluvia ácida es un ejemplo y se origina cuando las emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno reaccionan con el vapor de agua y con ayuda de la luz solar se convierten en ácido sulfúrico y ácido nítrico. Estos compuestos se depositan en la superficie de la tierra como aerosoles y partículas (deposición seca) o como lluvia, granizo y rocío (deposición húmeda). Los contaminantes pueden emitirse en un punto y permanecer ahí por días, hasta que el viento los arrastra grandes distancias y caen en áreas que pueden ser impactadas de acuerdo al grado de sensibilidad del ecosistema.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El nitrógeno forma siete diferentes óxidos, de los cuales sólo el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se presentan como contaminantes importantes del aire. Los NO_x que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación de nitrógeno atmosférico, o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico del combustible. En el primer caso, la producción de NO_x se favorece a medida que aumenta la temperatura y, resultado de esta dependencia, la producción de NO y NO₂ es función también de la relación aire/combustible en la mezcla. El dióxido puede formar ácido nítrico y ácido nitroso en presencia de agua. Ambos pueden precipitarse junto con la lluvia o combinarse con el amoníaco de la atmósfera para formar

nitrate de amonio. El óxido nítrico al igual que el monóxido de carbono, puede combinarse con la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transporte de oxígeno.

El dióxido de nitrógeno irrita los alvéolos pulmonares. Estudios de salud ocupacional muestran que este gas puede ser fatal en concentraciones elevadas. En contraste con el ozono, el NO₂ puede ser más abundante en interiores que en el exterior, esto se debe a que una fuente de este contaminante son las estufas de gas licuado de petróleo. y los quemadores o calderas industriales que utilizan el mismo combustible.

Los óxidos de nitrógeno generan, junto con los hidrocarburos, contaminantes de tipo secundario, la llamada contaminación fotoquímica, cuyo principal componente es el ozono (O₃). Los óxidos de nitrógeno son producidos principalmente por los transportes y por el consumo de combustibles en la industria y en la generación de energía.

Benceno

El benceno es un compuesto clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer como carcinógeno del Grupo 1, lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición al compuesto tóxico y el desarrollo del cáncer. Más específicamente, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen una mayor probabilidad de desarrollar leucemia aguda que la población en general. Asimismo, se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos y sobre el sistema nervioso central. En estudios de exposición ambiental realizados en Los Ángeles, se encontró que la principal fuente de exposición al benceno es el cigarro (39%) y la principal fuente de benceno en la atmósfera son las emisiones de los vehículos automotores (82%), así como las pérdidas evaporativas de hidrocarburos durante el manejo, distribución, almacenamiento y abastecimiento de gasolina. A pesar de que el contenido de benceno en la gasolina es relativamente bajo (menos del 2%), debido a su toxicidad y al alto consumo de este combustible, es necesario establecer estaciones de medición y realizar estudios de exposición para poder llevar a cabo un análisis de riesgo que indique el porcentaje de la población que se encuentra expuesta a niveles de concentración altos de este hidrocarburo en el área metropolitana de Costa Rica.

Formaldehído

El formaldehído puede ser emitido por vehículos automotores o ser producido por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Las emisiones de formaldehído de origen vehicular se incrementan con el uso de gasolinas oxigenadas. Está bien documentado el hecho de que el formaldehído ocasiona irritación ocular y nasal, irritación de las membranas mucosas, tos, náusea y alteraciones en la respiración. El formaldehído ha sido asociado con cáncer nasal y nasofaríngeo, principalmente en ambientes ocupacionales. La exposición al formaldehído debe reducirse no sólo por su probable efecto carcinógeno, sino también por su potencial para causar daño tisular. Algunos estudios epidemiológicos recientes sobre el formaldehído sugieren que el umbral para daño tisular es $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, es muy difícil hacer una evaluación de riesgo formal del efecto como carcinógeno debido al limitado número de datos disponibles actualmente (Wark, K. y Warner, C., 1994)

Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)

Los HPA son un grupo de compuestos químicos que se forman durante la combustión incompleta de la madera y otros combustibles fósiles. Las concentraciones de estos compuestos pueden ser bastante altas en las emisiones de los vehículos que usan diesel. Uno de los HPA más conocidos es el benzo- a -pireno. Estos compuestos pueden ser absorbidos en el intestino y en los pulmones. Existe bastante evidencia experimental que indica que los HPA son mutagénicos y carcinogénicos. Estudios específicos indican un riesgo mayor de desarrollar cáncer en personas ocupacionalmente expuestas a los HPA. Más específicamente, se ha encontrado que individuos que trabajan como conductores de camiones o mensajeros tienen un riesgo significativamente mayor de contraer cáncer de vejiga (Wark, K. y Warner, C., 1994).

Efectos sobre los ecosistemas

Los contaminantes atmosféricos también causan daños a la vegetación: los daños a los bosques son muy importantes así como la disminución de la productividad en zonas agrícolas. Los daños se deben principalmente al efecto de la precipitación o lluvia ácida y a los oxidantes fotoquímicos. Una característica importante de estas formas de contaminación es que sus

impactos van más allá de la escala local, afectando amplias regiones que en ocasiones rebasan las fronteras del país generador de los contaminantes.

Efectos en la atmósfera

Los contaminantes del aire afectan las condiciones atmosféricas provocando reducción de la visibilidad, formación de niebla y precipitación, disminución de la radiación solar y alteración de la temperatura y de la distribución de los vientos; además que en la actualidad se analizan los posibles efectos de algunos contaminantes del aire como por ejemplo, dióxido de carbono y partículas, sobre el cambio global del clima del planeta. El efecto más evidente de contaminación sobre la atmósfera es la reducción de la visibilidad, que es el resultado de la absorción y dispersión de la luz que provocan las moléculas del gas y las partículas. La absorción de la luz de ciertas longitudes de onda por moléculas gaseosas y partículas son las responsables en algunas ocasiones de las diferentes tonalidades de la atmósfera. Sin embargo la dispersión de luz es el principal fenómeno responsable del deterioro de la visibilidad.

Además de este efecto, la contaminación del aire afecta los climas urbanos con un aumento de la formación de niebla y un decremento en la recepción de la radiación solar. Se ha observado que la frecuencia en la formación de niebla es mayor en las ciudades que en el campo a pesar del hecho de que la temperatura del aire tiende a ser más alta y la humedad relativa más baja en las ciudades que en el campo. La explicación de este comportamiento yace en el mecanismo de formación de la niebla. Con altas concentraciones de dióxido de azufre, las gotas de ácido sulfúrico formadas por la oxidación del bióxido sirven como núcleos de condensación para la formación de niebla. Además de este fenómeno, se ha asociado un aumento en las precipitaciones en aquellas áreas con alta concentración de partículas.

2.2. Normas de calidad del Aire:

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular, para lo cual se incluye un margen adecuado de seguridad. En nuestro país, no existen los recursos ni la infraestructura para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales ni en seres humanos, por lo que

las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. Las normas vigentes de calidad del aire fueron dictadas por el Ministerio de Salud en el decreto 30221-SALUD publicado en el Diario Oficial la Gaceta el 21 de marzo de 2002, sin que hasta la fecha se haya realizado una revisión rigurosa de los estándares que esta contempla.

Tabla 1. Valores normados para contaminantes del aire en Costa Rica según decreto 30221-SALUD

Contaminante	Valores límite	
	Exposición Aguda	Exposición Crónica
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	400 µg/m ³ (Promedio aritmético en 1 hora)	100 µg/m ³ (Promedio aritmético anual)
Dióxido de Azufre (SO ₂)	365 µg/m ³ (Promedio aritmético en 24 horas)	80 µg/m ³ (Promedio aritmético anual)
Monóxido de Carbono (CO)	40 mg/m ³ (Promedio aritmético en 1 hora)	10 mg/m ³ (Promedio aritmético 8 horas)
Ozono (O ₃)	160 µg/m ³ (Promedio aritmético en 1 hora)	
Partículas PM ₁₀	150 µg/m ³ (Promedio aritmético en 24 horas)	50 µg/m ³ (Promedio aritmético anual)
Partículas Suspendidas Totales (PST)	240 µg/m ³ (Promedio aritmético en 24 horas)	90 µg/m ³ (Promedio aritmético anual)
Hidrocarburos Totales expresados como metano	160 µg/m ³ (Promedio aritmético en 3 horas)	

Los contaminantes generados en el cantón de Belén se miden actualmente como parte de un programa de colaboración entre el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional y la Municipalidad de Belén, en forma coordinada con el Ministerio de Salud y el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, a través de procedimientos estandarizados a nivel internacional y son representativos de la calidad del aire

promedio que se respira en el municipio. Las estaciones fijas de monitoreo, están localizadas de acuerdo a los criterios establecidos en el decreto 30221-SALUD y se ubican generalmente en sitios representativos de distintas fuentes de contaminantes. El respaldo de la validez técnica de los resultados se sustenta en la acreditación bajo la norma INTE-ISO/IEC-17025:2005 de los siguientes ensayos: partículas PM₁₀, dióxido de nitrógeno tanto por difusión pasiva como método activo, dióxido de azufre por método activo, monóxido de carbono, aniones (cloruro, sulfato y nitrato) y metales (Ca, Na, K, Mg, Mn, Fe, Cu, Cr, Ni, V, Pb, Al) en material particulado PM₁₀, otorgado por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional.

En la tabla 2 se encuentra una descripción detallada del sistema de monitoreo de la calidad del aire empleado en el cantón de Belén desde el año 2007 hasta la fecha.

Tabla 2. Contaminantes del aire medidos en el cantón de Belén

Contaminante	Número de estaciones	Frecuencia de medición	Metodología utilizada	Antigüedad de los datos
PM ₁₀	-Centro Comercial La Ribera -Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana	Manual, Alto volumen	2007
PM ₁₀ Composición química, incluye: (Cl, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , NO ₂ , PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , V, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, Al, Fe, Na, K, Mg, Ca)	-Centro Comercial La Ribera -Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana iones Una vez por semana metales	Manual, Alto volumen Iones: Cromatografía de iones Metales: Absorción Atómica (llama y horno de grafito)	2007
PM _{2,5}	-Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana	Manual, Alto volumen	2010
PM _{2,5} Composición química, incluye: (Cl, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , NO ₂ , PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , V, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, Al, Fe, Na, K, Mg, Ca)	-Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana iones Una vez por semana metales	Manual, Alto volumen Iones: Cromatografía de iones Metales: Absorción Atómica (llama y horno de grafito)	2010

Contaminante	Número de estaciones	Frecuencia de medición	Metodología utilizada	Antigüedad de los datos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	-Frente a Hotel Herradura -Residencial Cariari -Plaza de Deportes La Asunción -Costado norte de la empresa Firestone -Entrada principal Hotel Marriot -Iglesia de La Ribera -Parque Recreativo Ojo de Agua -Centro Comercial Plaza Belén -Polideportivo Belén -Costado norte Palacio Municipal -Frente a la empresa Kimberly Clark	Mensual	Muestreo Pasivo	2007
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	-Centro Comercial La Ribera -Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana	Manual, Absorción (Muestreo Activo)	2008
Dióxido de Azufre (SO ₂)	-Centro Comercial La Ribera -Instalaciones de la empresa Intermodal	Tres veces por semana	Manual, Absorción (Muestreo Activo)	2008
Depositación Total Composición química, incluye: (Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , pH, Conductividad)	-Centro Comercial La Ribera -Instalaciones de la empresa Intermodal	Muestreos de 24 horas	Colector abierto	2007

2.3. Estado de la calidad del aire en el cantón de Belén: situación actual y tendencias

Las concentraciones de algunos contaminantes criterio registradas en el cantón de Belén resultan ser superiores a los límites de exposición crónica reportados en el decreto 30221-S, así por ejemplo, durante el año 2010, los promedios anuales de partículas PM_{10} obtenidos para los sitios de muestreo BE-01 (La Ribera) y BE-02 (La Asunción) fueron 34 y 52 $\mu g/m^3$, respectivamente, por lo que no se cumple la norma anual de 50 $\mu g/m^3$ para el sitio BE-02. Sin embargo, tal como se puede apreciar en la figura 1, en ninguno de los dos sitios se incumple la norma de 24 horas (150 $\mu g/m^3$) para exposición aguda.

En el caso de la estación de monitoreo BE-02, los valores más altos de concentración de partículas PM_{10} se obtienen para los meses del año comprendidos en la época seca disminuyendo considerablemente durante el período de junio a noviembre, tal como se puede apreciar en la figura 2.

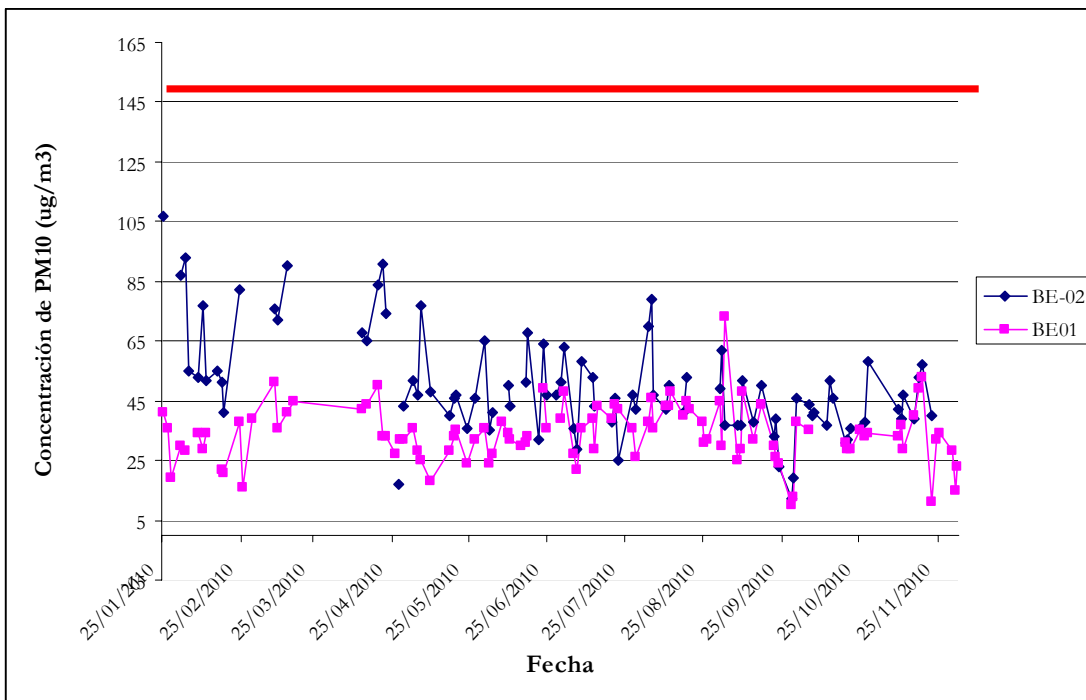


Figura 1. Concentraciones diarias de PM_{10} obtenidas para las dos estaciones de monitoreo ubicadas en el Cantón de Belén durante el año 2010.

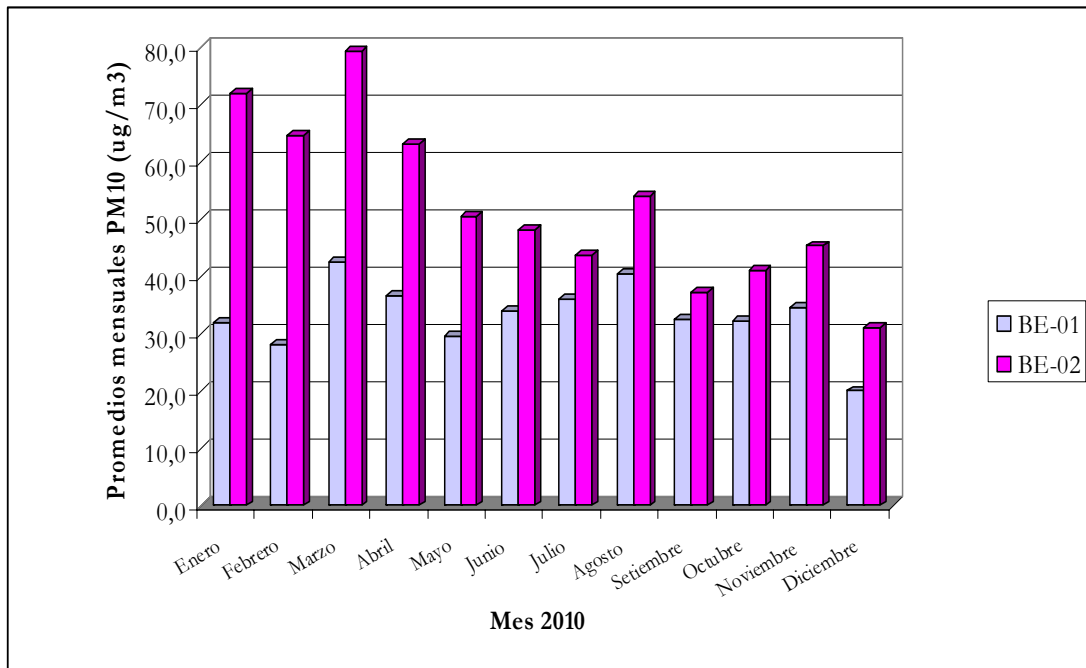


Figura 2. Variación de los promedios mensuales de PM₁₀ obtenidas para las dos estaciones de monitoreo ubicadas en el Cantón de Belén, año 2010.

Al comparar los promedios anuales de concentración de partículas PM₁₀, registrados en los dos sitios de monitoreo ubicados en el cantón de Belén, con los reportados para otras estaciones del Área Metropolitana de Costa Rica durante el mismo período de muestreo (Tabla 3), se puede observar que BE-02 y Heredia son los dos únicos sitios de la GAM, donde no se cumple la norma establecida en el decreto 30221-S. En forma adicional el sitio BE-01, presenta un promedio que no es significativamente diferente (5% de significancia) a los registrados en otros sitios con fuerte actividad comercial del Cantón Central de San José.

En forma adicional, en el sitio BE-02 se incluyó a partir del año 2010 un muestreador de aire de alto volumen para partículas PM_{2,5}. En la tabla 4, se presenta el valor promedio anual de concentración de partículas PM_{2,5} obtenido para el sitio BE-02, el cual resulta ser el mayor registrado en las cuatro estaciones ubicadas en el Área Metropolitana de Costa Rica.

Tabla 3. Promedios anuales de partículas PM₁₀ obtenidos en los sitios de monitoreo ubicados en el Área Metropolitana de Costa Rica para el año 2010.

Sitio	BE-01	BE-02	Heredia	Hatillo, San José	La Uruca, San José	Escazú	Santo Domingo	Moravia	Alajuela
Promedio Anual (µg/m ³)	34 (10)	52 (18)	52 (24)	35 (17)	37 (9)	24 (10)	24 (12)	21 (7)	25 (7)

El valor expresado entre paréntesis corresponde a la desviación estándar de los datos
Valores en rojo no cumplen el valor máximo anual permitido por el decreto 30221-S para partículas PM₁₀

Cabe mencionar que la comparación se realiza con normativa internacional ya que el país no cuenta con norma para este contaminante dentro del decreto 30221-S. Los incumplimientos a la normativa de la OMS y la USEPA, en el caso del sitio BE-02, se dan tanto para el umbral de 24 horas como para el valor anual. Del total de días muestreados durante el año 2010, el 52% presentan incumplimiento al valor límite reportado por la USEPA para muestreos de 24 horas.

Tabla 4. Promedios anuales de partículas PM_{2,5} obtenidos en los sitios de monitoreo ubicados en el Área Metropolitana de Costa Rica para el año 2010.

Sitio	BE-02	Heredia	Moravia	La Uruca, San José	Norma OMS	Norma USEPA	Norma México
Promedio Anual (µg/m ³)	36	35	13	27	24 horas:	24 horas:	24 horas:
Máximo (µg/m ³)	62	66	26	58	25 µg/m ³	35 µg/m ³	65 µg/m ³
Mínimo (µg/m ³)	14	9	6	14			
Desviación Estándar (µg/m ³)	11	21	5,6	8	Anual: 10 µg/m ³	Anual: 15 µg/m ³	Anual: 15 µg/m ³
Cociente PM _{2,5} /PM ₁₀	0,68	0,66	0,61	0,73			

Valores en rojo no cumplen el valor máximo anual permitido por la normativa internacional

Una situación similar a la reportada con las partículas, ocurre con el dióxido de nitrógeno, para el cual durante el año 2010, al menos tres sitios en Belén presentan valores mayores a

40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabla 4) que corresponde a la norma anual establecida por la Organización Mundial de la Salud para este contaminante.

Tabla 4. Concentraciones promedio anuales de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sitios de muestreo ubicados en el cantón de Belén, Costa Rica.

Sitio de Muestreo	Año 2010
Frente a Hotel Herradura	35 (6)
Residencial Cariari	19 (3)
Plaza de Deportes La Asunción	44 (5)
Costado norte de Firestone	33 (7)
Entrada Principal Hotel Marriot	30 (5)
Iglesia Católica de La Ribera	19 (4)
Parque Recreativo Ojo de Agua	29 (5)
Centro Comercial Plaza Belén	47 (4)
Polideportivo de Belén	22 (4)
Costado norte del Palacio Municipal	42 (7)
Frente a la empresa Kimberly Clark	28 (5)

El dato colocado entre paréntesis representa la desviación estándar del promedio

Al analizar la tendencia registrada por los datos de partículas PM_{10} para el sitio de monitoreo BE-01 en los últimos cuatro años (2007-2010) se puede observar que se presenta una tendencia al descenso en este sitio con una tasa anual cercana al 5% (figura 3).

Este descenso puede ser atribuido a los esfuerzos realizados por el Ministerio de Ambiente y Energía y la Refinadora Costarricense de Petróleo por mejorar el contenido de azufre en los combustibles, especialmente el caso del diesel, en donde se pasó de 3500 a tan sólo 100 ppm, coincidentemente en el mismo período de tiempo. Sin embargo de acuerdo con datos generados en el último inventario de emisiones de contaminantes criterio del Área Metropolitana de Costa Rica, el 97% de las emisiones de dióxido de azufre provienen de fuentes fijas, por lo que no se espera una reducción adicional en las emisiones de este contaminante hasta tanto no se mejore la calidad del búnker utilizado en los procesos de combustión industriales. Es importante mencionar que existen importantes correlaciones

entre el contenido de azufre de los combustibles y las emisiones de material particulado, especialmente en procesos de combustión.

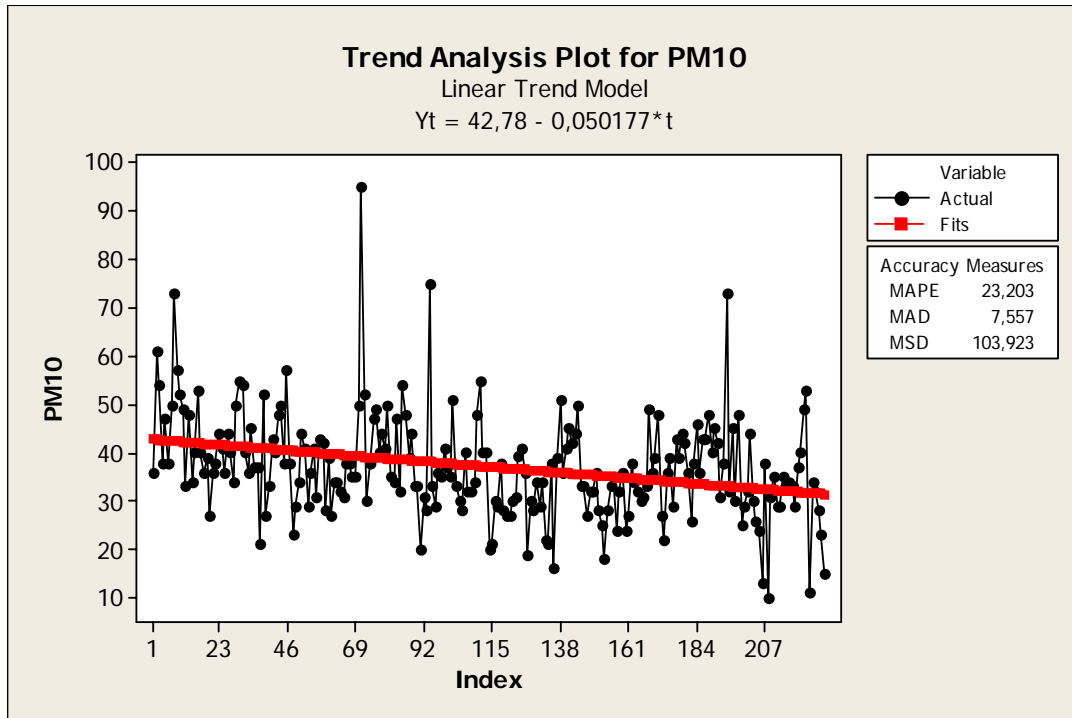


Figura 3. Tendencia de los valores de PM10 para el sitio de monitoreo BE-01, años 2007-2010.

Sin embargo, tal como se muestra en la tabla 5, el descenso en el contenido de azufre del combustible, no ha tenido una repercusión directa en el contenido de sulfato de las partículas, cuyo valor ha tendido a mantenerse constante en el período 2007-2010. Lo anterior se puede deber al hecho de que las principales fuentes emisoras responsables de la generación de sulfato en partículas pudieran ser las emisiones de fuentes fijas, principalmente las originadas en procesos de combustión.

En el caso de nitrato, es de esperarse el comportamiento observado al incrementar anualmente la flota vehicular, en una tasa cercana al 13% y por ende las emisiones generadas de óxidos de nitrógeno por las fuentes móviles.

Tabla 5. Promedio anuales de los principales constituyentes químicos de las muestras de partículas PM₁₀, colectadas en el sitio BE-01 de 2007-2010.

Contaminante	2007	2008	2009	2010
SO ₄ ²⁻ en PM ₁₀	3,3 ± 0,9	3,0 ± 0,9	3,2 ± 1,3	3,5 ± 1,9
NO ₃ ⁻ en PM ₁₀	0,29 ± 0,17	0,52 ± 0,24	0,85 ± 0,22	1,01 ± 0,32

Si se agrupan los datos mensuales de concentración de NO₂ de acuerdo a la naturaleza del sitio de muestreo (actividad local) para el caso de Belén, tal y como se muestra en la figura 4, se puede observar que las tres categorías (comercial, industrial y residencial) presentan un comportamiento muy similar. Además es claro que los sectores comerciales e industriales presentan valores altos de concentración de dióxido de nitrógeno, con datos muy cercanos o por encima del límite establecido por la Organización Mundial de la Salud.

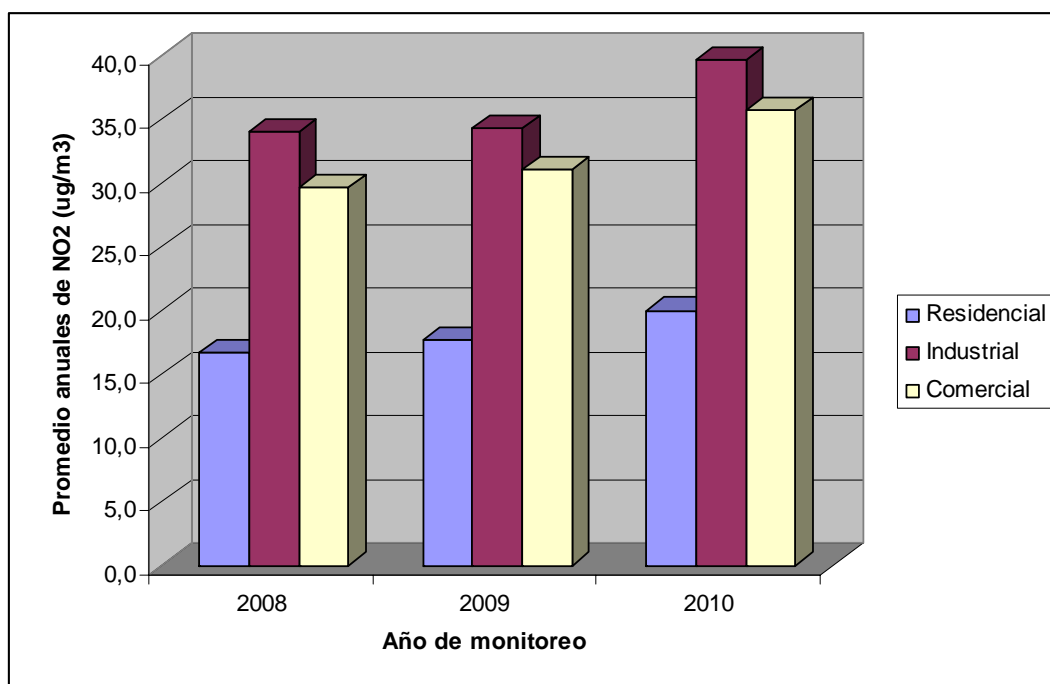


Figura 4. Comparación de niveles de NO₂ registrados en cantón de Belén para el período 2008-2010, por tipo de sitio de muestreo.

Los valores elevados registrados en los sitios comerciales pueden ser atribuidos al alto flujo vehicular que se presentan en dichas zonas. Por otro lado el sector residencial se diferencia

bastante de los otros sectores presentando valores significativamente menores. Posteriormente se hizo un análisis de promedios móviles para analizar la tendencia histórica que tienen los datos. A partir de este análisis se determinó que los tres sectores presentan una tendencia al alza en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, solo que la tasa de crecimiento resulta ser 22 y 17% anual para el sector industrial y comercial y de tan sólo un 11% para el sector residencial.

3. Objetivos, metas y lineamientos estratégicos

3.1. Objetivo General:

El objetivo principal del Programa de Gestión de la Calidad de Aire en el Cantón de Belén es señalar acciones encaminadas a proteger la salud de la población, y a prevenir y controlar la contaminación del aire generada por fuentes emisoras; ello a través de acciones coordinadas de los dos niveles de gobierno (local y nacional).

3.2. Objetivos específicos:

- Reducir las emisiones contaminantes generadas por vehículos automotores,
- Reducir las emisiones provenientes de la industria y de establecimientos comerciales y de servicios,
- Privilegiar el uso del transporte público para reducir la utilización de vehículos particulares,
- Desarrollar mecanismos de coordinación interinstitucional para el diseño de políticas sectoriales que permitan la integración de la planeación ambiental y urbana en la Municipalidad de Belén
- Fortalecer la conciencia y la participación ciudadana en torno a las acciones de protección ambiental,
- Incrementar el conocimiento técnico-científico de los procesos que condicionan el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, para sustentar las acciones propuestas en el Programa, e incorporar otras no consideradas,
- Instrumentar mecanismos que fomenten la participación del sector privado mediante incentivos económicos, incluyendo el apoyo gubernamental a proyectos y estudios requeridos.

3.3. Metas

La meta general de este Programa es reducir gradualmente las emisiones generadas en el Cantón de Belén hasta conseguir el cumplimiento de las normas de calidad de aire, en un horizonte de aplicación del 2012 al 2017.

3.4. Acciones y Estrategias

A partir de esta meta se generan cinco áreas de trabajo generales para el programa, determinadas a partir de la asimilación de dos aspectos fundamentales: las causas de fondo de la contaminación atmosférica y el inventario de emisiones de gases contaminantes y material particulado. En este sentido, las áreas cubren de manera general todos aquellos aspectos sobre los cuales hay posibilidad de incidir para modificar el estado de la calidad del aire. El Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Belén plantea cinco áreas de trabajo, en donde cada una agrupa acciones específicas enfocadas al cumplimiento de los objetivos planteados en el mismo, y a la reducción de las emisiones contaminantes; estas áreas son:

- Industria, comercio y servicios
- Gestión urbana y del transporte
- Restauración Ecológica
- Sistemas de información para la toma de decisiones oportunas
- Participación ciudadana.

Para cada una de estas áreas se proponen diferentes acciones, en cada una de ellas se identifican las metas, los responsables directos, otros participantes y algunos de los mecanismos de gestión requeridos.

3.5. Alineamiento con otros planes existentes a nivel regional y cantonal

El presente programa se encuentra enmarcado dentro del área estratégica de Protección al Ambiente del Plan de Desarrollo Cantonal vigente en la Municipalidad de Belén. Dicho plan indica la necesidad de crear instrumentos de gestión tendientes a prevenir el agravamiento de problemas ambientales con sus consecuencias indeseables para la salud de la población.

En forma adicional en octubre de 2008, se presentó, como parte de un convenio de cooperación suscrito entre el Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, la Municipalidad de San José y la Universidad Nacional, el Programa para mejorar la calidad del aire del Área Metropolitana de Costa Rica. Este fue un primer paso, dentro de un sistema que pretende incorporar y expandir sus horizontes a niveles más altos de integración de una manera proactiva entre los diferentes actores de la sociedad costarricense comprometidos a la mejora del desempeño ambiental de Costa Rica, por lo que esta iniciativa dejaba las puertas abiertas a todas aquellas Municipalidades que integran la región a generar sus propios planes de gestión de calidad del aire siguiendo, dentro de sus competencias, seis áreas de trabajo generales:

- I. **Industria limpia:** Reducción de emisiones en la industria y servicios.
- II. **Participación ciudadana:** Educación ambiental y toma de conciencia y sensibilidad pública.
- III. **Gestión y transporte limpio:** Regulación del recorrido de vehículos automotores.
- IV. **Eficiencia energética:** Reducción de emisiones y ahorro energético.
- V. **Incorporación de fuentes de energía autóctonas y renovables diversificadas:** Promoción de diversas fuentes generadoras de energía que reduzcan las emisiones de gases nocivos para el ambiente y mejora de la calidad de los combustibles.
- VI. **Sistema de información para la toma de decisiones:** Desarrollo y socialización de indicadores para la toma de decisiones.

Debido a lo anterior, el presente programa no presenta incompatibilidades con ninguno de los instrumentos de gestión existentes a nivel local y regional en materia de protección ambiental y gestión de la calidad del aire.

4. Acciones estratégicas

4.1. Industria, Comercio y Servicios

4.1.1. Desarrollar un Registro Municipal de Emisiones para el Cantón de Belén

Objetivo: Identificar y registrar todas las fuentes de emisiones contaminantes ubicadas en el Cantón de Belén

Justificación: El registro de fuentes emisoras se presenta como el primer paso para evaluar la transferencia de contaminantes, así como para desarrollar indicadores e índices de cumplimiento ambiental en el Cantón. La Municipalidad de Belén, apoyada en el inventario de emisiones para el Área Metropolitana de Costa Rica y en su Unidad Ambiental, podrá iniciar el registro de fuentes emisoras ubicadas en el cantón.

Es importante que el cantón de Belén cuente con su propio inventario de emisiones, con el fin de conocer el aporte de cada una de las distintas fuentes a la emisión total de contaminantes.

Meta: Registrar en el corto plazo todos los giros comerciales y de servicios de nueva creación y los previamente establecidos, así como otras fuentes fijas de emisión ubicadas en el cantón

Responsables directos: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente y Energía, Sector Académico

Mecanismos de gestión: Crear un registro de emisiones que sirva de base para:

-Contar con la identificación y localización de todas las fuentes emisoras existentes en el cantón.

-Incluir información de las emisiones anuales generadas por cada fuente a partir de mediciones directas o cálculo con factores de emisión y actividad reportados por las empresas y establecimientos comerciales.

-Establecer indicadores para la evaluación de las medidas adoptadas en los distintos planes de gestión a ser desarrollados por el municipio

4.1.2. Fortalecer la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios.

Objetivo: Reforzar la inspección y vigilancia de establecimientos industriales, comerciales y de servicios, mediante la aplicación de reglamentos existentes a nivel nacional en materia de control de emisiones.

Justificación: Para que la aplicación de la normatividad vigente en materia de contaminación del aire sea estricta en la vigilancia del cumplimiento y que ésta reduzca las emisiones efectivamente, es necesario que la Municipalidad de Belén y los Ministerios de Salud y Ambiente y Energía realicen una estrecha coordinación con el fin unir esfuerzos en los programas de control y seguimiento del cumplimiento de los compromisos ambientales de las empresas y establecimientos comerciales evitando la duplicidad de funciones.

Meta: Establecer un programa continuo de observancia y cumplimiento de los decretos en materia de calidad del aire y sus fuentes de contaminación.

Responsables directos: Municipalidad de Belén, Ministerio de Salud (Área Rectora Flores-Belén), Ministerio de Ambiente y Energía.

Mecanismos de gestión:

-La Municipalidad de Belén compartirá los datos actualizados contenidos en su Registro Municipal de Emisiones con los ministerios, los cuales a su vez retroalimentarán el registro con la información generada por los reportes operacionales presentados a dichas instancias por parte de las empresas y establecimientos comerciales.

-La Municipalidad de Belén, a través de la Unidad Ambiental coordinará con el Ministerio de Salud, la realización de un programa de vigilancia del cumplimiento de las obligaciones ambientales en materia de emisiones de gaseosas de las empresas y establecimientos comerciales instalados en el cantón.

-La Municipalidad de Belén apoyará económicamente, en la medida de sus posibilidades, la realización de un programa de controles cruzados a las empresas y establecimientos comerciales del cantón, en coordinación con el Ministerio de Salud, con el fin de garantizar que la condición de tasa de emisión reportada por las empresas corresponde a la realidad.

4.1.3. Establecer un programa de empadronamiento y vigilancia de terminales de almacenamiento y estaciones de servicio de combustibles y gas licuado de petróleo en el Cantón.

Objetivo: Contar con sistemas de recuperación de vapores en dispositivos de almacenamiento de combustibles y estaciones de servicio.

Justificación: Los compuestos orgánicos volátiles se consideran contaminantes precursores del ozono; este compuesto se ubica como elemento estándar primario para medir la calidad de aire tanto en Costa Rica como en países como los Estados Unidos.

Meta: Convenir el empadronamiento y promover la instalación de sistemas de recuperación de vapores de fase cero y uno en las terminales de almacenamiento y en los tanques de las gasolineras, y promover la instalación de sistemas de la fase dos en el 100% de las estaciones de servicio ubicadas en el cantón de Belén.

Responsables directos: Municipalidad de Belén, Ministerio de Ambiente y Energía

Responsables de seguimiento: Municipalidad de Belén, Ministerio de Ambiente y Energía

Otros participantes : Propietarios de estaciones de servicios, sector industrial

Mecanismos de gestión:

-Desarrollar un sistema de información geográfico en donde se registren los sitios de almacenamiento y distribución de hidrocarburos existentes en el cantón consignando como mínimo la siguiente información: tipo de tanque, tipo de techo, producto almacenado, altura del tanque, altura de operación del tanque, capacidad de operación del tanque, capacidad de diseño, color y estado de pintura, volumen bombeado).

-Utilizar el modelo TANKS de la USEPA con el fin de estimar las emisiones generadas de compuestos orgánicos volátiles por la operación de los tanques.

-Promover la instalación de sistemas de recuperación de vapores de fase cero y uno en las terminales de almacenamiento y en los tanques de las gasolineras, y promover la instalación de sistemas de la fase dos en el 100% de las estaciones de servicio ubicadas en el cantón de Belén

4.2. Gestión Urbana y de Transporte

4.2.1. Desarrollar un estudio integral de vialidad y transporte en el Cantón de Belén

Objetivo: Contar con un estudio integral de vialidad y transporte que sirva como base para diseñar programas de movilización masiva que disminuyan las emisiones y el uso de vehículos particulares.

Justificación: La realización de un estudio de vialidad y transporte por parte de la Municipalidad de Belén permitirá orientar las acciones enfocadas al mejoramiento del sistema vial y de transporte en el cantón; en él se identifica la problemática actual del transporte y del sistema vial del municipio y se establecen una serie de propuestas encaminadas a mejorar los tiempos y recorridos para la creación de nuevas rutas; así mismo, se busca favorecer el rápido desplazamiento de los vehículos automotores y en consecuencia la reducción de las emisiones contaminantes que se generan por esta vía.

Meta: Efectuar una evaluación cuantitativa de emisiones generadas por el transporte, que permita establecer los escenarios completos para la programación de obras prioritarias, lo cual se determinará en las etapas más avanzadas de la planeación de cada uno de las acciones previstas en el programa y en base a la evaluación costo-beneficio de acciones como: la semaforización de intersecciones, creación de pasos a desnivel, señalización, construcción de enlaces viales, pavimentación de accesos y ampliación de carriles que favorezcan el rápido desplazamiento de los vehículos y la reducción de sus emisiones contaminantes.

Responsable directo: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, CONAVI, COSEVI

Mecanismos de gestión :

-Contratación de la realización de un estudio de vialidad y Transporte por parte de la Municipalidad de Belén. El alcance de dicho estudio será definido en forma conjunta con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

-Revisión y redefinición del Programa Municipal de Infraestructura Vial para los próximos cinco años, de forma tal que se le de atención prioritaria a las obras señaladas en el estudio de vialidad.

-Coordinación de esfuerzos con CONAVI y COSEVI para la ejecución de cambios en carreteras que no sean de competencia municipal.

4.2.2. Estudiar diferentes alternativas de transporte masivo y de renovación del parque vehicular destinado a transporte público en el cantón

Objetivos: Desarrollar estrategias conjuntas a mediano y largo plazo para mejorar la calidad del transporte en el cantón de Belén.

Justificación: Dentro del diagnóstico ambiental arrojado a partir del monitoreo de la calidad del aire en Belén, se encuentran importantes indicios de que la contaminación atmosférica presente en ciertos sectores del cantón se puede deber a la deficiente operación del sistema vial y de transporte urbano. El diagnóstico indica que los principales problemas que agravan la calidad del aire tienen que ver con el tipo de trazo en las vialidades, la falta de enlaces viales para la integración y continuidad vial y un exceso en los sistemas de control de tráfico. Por otro lado el paso de vehículos de carga pesada por el centro de la ciudad, es un factor que contribuye preponderantemente en los problemas de congestión vial que se presentan con frecuencia en las principales arterias de circulación de la ciudad.

Meta: Coordinar con el Consejo de Transporte Público, la necesidad de evaluar la pertinencia de las siguientes características del servicio de transporte público que se brinda en el cantón: horarios, rutas, antigüedad de las unidades, tecnología y tamaño de las unidades a ser utilizadas.

Responsables directos: Municipalidad de Belén y Consejo de Transporte Público

Otros participantes: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Mecanismos de gestión:

Establecer los mecanismos de coordinación necesarios para definir en conjunto con el Consejo de Transporte Público, las mejores características para los servicios de transporte público que se dan en el Cantón

Estudiar las posibilidades de otros medios de transporte masivo que se pudieran desarrollar en el cantón a mediano y largo plazo.

4.2.3. Implantación de una campaña de apercibimiento, a vehículos ostensiblemente contaminantes

Objetivo: Reducir la circulación de vehículos visiblemente contaminantes en el cantón de Belén.

Justificación: En la actualidad en el Área Metropolitana de Costa Rica se observan circulando vehículos ostensiblemente contaminantes, que evaden mediante distintas prácticas los controles establecidos en la revisión técnica vehicular. La implementación de una campaña de apercibimiento de vehículos ostensiblemente contaminantes hará participe de este Programa a la comunidad, a través de la figura del Inspector Voluntario.

Meta: Establecer en el corto plazo una campaña de apercibimiento a vehículos ostensiblemente contaminantes y una intensa campaña de difusión hacia la ciudadanía.

Lograr la participación y cumplimiento del Programa con toda la comunidad de Belén

Implementar un programa de apercibimiento de vehículos ostensiblemente contaminantes en el cantón de Belén

Responsables directos : Municipalidad de Belén

Otros participantes: Policía de Tránsito

Mecanismos de gestión :

-Habilitar una línea telefónica a los habitantes del cantón de Belén para que puedan reportar el número de placa de vehículos que circulen por el cantón generando emisiones importantes de gases de combustión

-La Municipalidad de Belén coordinará con la policía de Tránsito para la ejecución de redadas para detener la circulación de los vehículos reportados, con el fin de realizarles la respectiva prueba de emisiones.

-La Municipalidad de Belén realizará campañas de educación ambiental que conscienticen a los ciudadanos del cantón sobre la necesidad de que se involucren en este programa

4.2.4. Inducción de nuevos patrones de crecimiento, uso de suelo y esquemas de transporte público

Objetivo: Revertir a través de la inducción de nuevos patrones de crecimiento, de uso de suelo y de transporte público, la tendencia actual de incremento del parque vehicular.

Justificación: Estudios del Departamento de Transporte de California, aseguran que el costo por la contaminación del aire generada a través de los automóviles, es muy elevado. Aunque algunos de estos costos se pueden recuperar a través de mecanismos fiscales, como los impuestos a la gasolina, la mayor parte de estos costos están siendo cubiertos por la sociedad en general.

Metas: Elevar la accesibilidad del transporte considerando la redensificación del uso de suelo, priorizando el sistema de transporte público, y promoviendo medios de transporte no motorizado que reduzcan la motorización excesiva.

Responsables directos: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Mecanismos de gestión:

-Promover el uso del transporte público en los desarrollos urbanos futuros.

-Realizar las gestiones pertinentes para elevar los estándares de calidad del transporte público ofrecido actualmente en el cantón.

4.3. Recuperación Ecológica

4.3.1. Elaboración de un Programa y Reglamento de Forestación Municipal y seguimiento de los programas de pavimentación

Objetivo: Reducir las emisiones de polvos y partículas PM10 provenientes de la erosión del suelo y de calles sin pavimentar.

Justificación: De acuerdo con los datos reportados por la red de monitoreo atmosférico, se observa que se rebasaron los valores establecidos por las normas de calidad de aire para las partículas PM10 y PM2,5; estas excedencias se asocian entre otras causas, a la resuspensión de polvos. Por ello es importante que la municipalidad, formule un programa de forestación para el cantón, en donde se resuelva la problemática generada por los espacios desprovistos de vegetación, pensando en utilizar especies de rápido crecimiento y con amplias posibilidades de adaptación al tipo de suelo y clima de la región.

Meta: Reducir en el mediano plazo y de acuerdo con las cifras reportadas por el inventario de emisiones, la generación de polvos y partículas PM10. Realizar un programa de prioridades de atención para pavimentación, con base en los datos del monitoreo atmosférico.

Responsables directos: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Ministerio de Ambiente y Energía

Mecanismos de gestión: Impulsar los programas de forestación en el cantón.

4.4. Sistemas de Información para la toma de decisiones oportunas

4.4.1. Operación y fortalecimiento de la Red de Monitoreo Atmosférico del Belén

Objetivo: Dar continuidad al monitoreo atmosférico en el cantón de Belén

Justificación: La red de monitoreo atmosférico inició su operación de manera permanente a partir del año 2007. Sin embargo, es necesario fortalecer el funcionamiento de la misma a partir de la incorporación de nuevos contaminantes a ser medidos como el ozono y los hidrocarburos totales, además de realizar el muestreo automático de algunos de los contaminantes que ya se miden.

Meta:

Desarrollar un plan de operación local para las estaciones de monitoreo de Belén en coordinación con centros de investigación y educación superior de Costa Rica.

Acordar mecanismos formales de apoyo financiero para la inclusión de nuevos contaminantes y el monitoreo en forma automática de algunos de los ya incorporados en operación de la Red de Monitoreo

Responsable directo: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Sector académico

Mecanismos de gestión:

Apoyo al establecimiento de una unidad móvil de monitoreo de calidad del aire en el cantón de Belén

Fortalecimiento de los mecanismos de divulgación de los datos generados por la red de monitoreo.

4.4.2. Elaborar y revisar periódicamente el inventario de emisiones

Objetivo: Contar con un inventario confiable que sirva como base para diseñar acciones para reducir las emisiones en los diferentes sectores generadores.

Justificación: El inventario de emisiones de cualquier ciudad es un instrumento dinámico que requiere actualizarse periódicamente. Este inventario se deberá actualizar por lo menos cada dos años.

Meta: Contar con un instrumento confiable para la toma de decisiones.

Responsables directos: Municipalidad de Belén

Otros participantes : Sector académico

Mecanismos de gestión : La Municipalidad de Belén y el sector académico deberán realizar un acuerdo de coordinación tendiente a actualizar periódicamente el inventario de emisiones, lo cual debido a la dinámica de crecimiento de la región se requerirá por lo menos cada dos años, para que sirva como instrumento básico para el control de la contaminación atmosférica.

4.4.3. Consolidar un programa de vigilancia epidemiológica asociada a la contaminación

Objetivo: Contar con la información actualizada y permanente sobre las condiciones de salud de la población de Belén, a través de un programa de vigilancia epidemiológica.

Justificación: Las autoridades ambientales y sanitarias, y la comunidad en general, necesitan contar con información permanente sobre los efectos de la contaminación ambiente en la salud. Esta información es importante para la toma de decisiones y para la consistencia en la aplicación del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Belén, de tal manera que la activación del sistema de vigilancia permita generar la información necesaria para conocer y evaluar los daños y efectos en la salud de la población y con ello enfocar de manera eficiente las medidas de prevención, protección y atención pertinentes.

Como parte del programa de vigilancia epidemiológica, las autoridades de salud en coordinación con otras autoridades competentes llevarán a cabo campañas de difusión para informar oportunamente a la población sobre las medidas preventivas y correctivas que deben seguir para evitar efectos a la salud por exposición a la contaminación.

Meta: Contar con un sistema de vigilancia epidemiológica permanente

Responsables directos : Municipalidad de Belén, Ministerio de Salud

Otros participantes: Caja Costarricense de Seguro Social, Instituciones Académicas y de Investigación.

Mecanismos de gestión: Realizar un convenio de coordinación con el Ministerio de Salud para el seguimiento de los resultados de la Red de Monitoreo con el fin de implementar estrategias de seguimiento e información a la población.

4.4.4. Celebrar convenios con las instituciones de educación superior para realizar estudios relacionados con la contaminación atmosférica

Objetivos: Convenir con instituciones de educación superior y de investigación la realización de estudios relacionados con la contaminación.

Justificación: En la actualidad el cantón de Belén ha sido objeto de algunos estudios específicos relacionados con el tema de contaminación ambiental. Sin embargo, es necesario que se apoye e impulse este tipo de proyectos.

Meta: Celebrar convenios para la realización de estudios para prevenir y reducir la contaminación.

Responsables directos : Municipalidad de Belén

Otros participantes : Sector académico

Mecanismos de gestión: La Municipalidad de Belén deberá impulsar y promover los trabajos de investigación que las diferentes instituciones de investigación realicen con el fin de prevenir y

controlar la contaminación atmosférica en la región.

4.5. Participación Ciudadana

4.5.1. Elaborar un programa de concientización y educación ambiental para el Cantón de Belén

Objetivos: Concientizar a la población para que contribuya en la prevención y control de la contaminación atmosférica, coadyuvando en la integración de programas sociales y de educación ambiental.

Justificación: La Municipalidad de Belén en coordinación con las instituciones educativas deberán promover un programa de educación ambiental con los diferentes grupos sociales. Este tipo de programas es necesario para promover el conocimiento sobre la prevención y control de la contaminación ambiental, ya que no sólo es responsabilidad de las autoridades, sino más bien debe ser el producto de la suma de esfuerzos de todos los integrantes de la comunidad. Para que esto se pueda efectuar es necesario convenir con universidades e institutos de educación la preparación de estos temas, además las autoridades promoverán la capacitación de su personal con cursos especializados en temas ambientales para los diferentes niveles y áreas de trabajo para que el Programa se contemple en forma integral.

Meta: Consolidar un Programa de Participación Social y Educación Ambiental.

Responsables directos: Municipalidad de Belén

Otros participantes: Instituciones Educativas y de Investigación, ONG's e Iniciativa Privada.

Mecanismos de gestión: Coordinación para elaborar el programa con la participación de las Instituciones educativas y de investigación y las ONG's apoyados por la iniciativa privada para el financiamiento e implementación de las acciones.

5. Referencias

Akland, G.G.; Hartwell, T.D.; Johnson, T.R.; Whitmore, R.W. (1985). Measuring human exposure to carbon monoxide in Washington, D.C., and Denver, Colorado, during the winter of 1982-1983 . *Environmental Science and Technology* 19: 911-918.

Cubero, D. 2010. Informe Final Indices de Fragilidad Ambiental del Cantón de Belén. 116 pp.

Denyer, P. Arias, O., 1991. Geología de la Región Central de Costa Rica. *Revista de Geología de América Central*, 12: 1-59.

Gómez, A., 1984. Grupo Volcánico Central. – En: Sprechmann, P: *Manual de Geología de Costa Rica*. Vol 1: Estratigrafía. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José. 61-66.

Kussmaul, S. 1994. Estratigrafía de las rocas ígneas. - En Denyer, P & Kussmaul, S., (1994) - (comp): *Atlas Geológico Gran Área Metropolitana*. Editorial Tecnológica. I ed. Cartago. 61-88.

Municipalidad de Belén (2007) *Plan de Desarrollo Cantonal*, 37 pp

Romieu, I. (1995). Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *Am. J. Epidemiol.*

Wark, K. y Warner, C. (1994). *Contaminación del Aire, Origen y Control*. Limusa Noriega Editores, México D.F.