



**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL**

**Determinación de compuestos en el aire producto de la combustión de materiales  
fósiles, en la Ciudad de Alajuela**

**INFORME FINAL**

**Ingeniero Jaime Andrés Méndez Piedra**

**ENERO 2015**

## Resumen:

En la antigüedad, la naturaleza era capaz de absorber las acciones exteriores perturbadoras (degradación, contaminación) de forma que se mantenía un equilibrio relativamente estable. Actualmente, el crecimiento de la población, el uso irracional de los recursos y el aumento de la contaminación han provocado un aumento de la contaminación.

1. El incremento de estas acciones ha hecho que el poder auto depurador del ambiente ha sido incapaz de compensarlas.
2. Este estado ha generado una situación de equilibrio inestable que se puede definir como una situación degradada.
3. La degradación del medio ambiente ha ido avanzando paralelamente al desarrollo industrial.

La Universidad Técnica Nacional realiza una medición de la contaminación en el Cantón Central de Alajuela, para tal fin se escogieron siete puntos de la ciudad, dicho estudio se realizó en el mes de octubre del 2013 y en mayo del 2014, efectuando mediciones en las épocas lluviosa y al final de la época seca respectivamente.

La escogencia de los lugares tuvo como criterio - ubicar espacios con alto nivel de representatividad para respirar la mayor parte de la población.

En los países desarrollados las mediciones de calidad del aire son frecuentes, al menos tres meses durante el año. Por su parte de contaminantes en el ámbito costarricense en provincias como San José y Heredia se llevan registros de mediciones de contaminantes en los últimos años, sin duda, ante la ausencia de la referida información en el contexto del cantón central de Alajuela se hace evidente la pertinencia social de este estudio.

En virtud de lo expresado, en el Departamento de Investigación de La Universidad Técnica Nacional se ha decidido realizar este estudio de tanta importancia para la comunidad; como es sabido la contaminación del aire aumenta el riesgo de diversas enfermedades respiratorias y del corazón, entre otras.

Se tomó como criterio guía el de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, según sus siglas en inglés), que forma parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS). De acuerdo con datos de la Revista SINC, en su publicación la ciencia es noticia, edición del 10/10/2013 se ha clasificado la contaminación del aire como carcinógeno para las personas ubicado en el Grupo 1. Esta decisión supone que la polución se clasifica en el Grupo 1 de la categorización estándar de la IARC para evaluar los compuestos o factores físicos que pueden ser carcinógenos para los seres humanos, lo anterior, en función de las pruebas científicas.

Así, el Grupo 1 congrega factores carcinógenos para el ser humano, mientras que el Grupo 4 incluye agentes probablemente no causantes de cáncer. La IARC ha tomado esta decisión, recogida en el Volumen Monográfico 109, después de que del análisis de un grupo de expertos ~~haya analizado~~ en reuniones durante una semana en Lyon (Francia), de allí se obtiene la literatura científica más reciente para evaluar la carcinogenicidad de la contaminación atmosférica.

Palabras claves:

Concepto de Contaminación, medición de contaminantes por fuentes móviles, problemas en la salud generado por la contaminación.

## INTRODUCCIÓN:

La contaminación del aire proveniente de la actividad humana es tan vieja como nuestra habilidad de hacer fuego, se incrementó con la Revolución Industrial y ha venido creciendo con los años.

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire de toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, altere o modifique su composición y condición natural (INE, 2000).

De acuerdo con las leyes físicas, la contaminación se puede asimilar, transformar o eliminar, de tal modo que los sistemas permanecen en equilibrio. Sin embargo, en muchos casos las emisiones de grandes cantidades de sustancias a la atmósfera han rebasado la capacidad de equilibrio de este sistema, ocasionando con ello la alteración del ambiente natural (Kathryn et al; 2004

Según estudios realizados por Zaidett Barrientos Llosa, investigadora del Laboratorio de Ecología Urbana, Vicerrectoría de Investigación, UNED; dice que ~~el~~ si hablamos de la contaminación atmosférica, el 75% se debe al uso de combustibles. El aumento en la flota vehicular se presenta principalmente por un incremento en los vehículos de uso particular (Liao, 2008).

La flota vehicular se considera la principal fuente de contaminación atmosférica pues genera 75% de la contaminación (Alfaro, 2001; MIDEPLAN,2008).

La contaminación del aire a diferencia de otros problemas ambientales como la contaminación del suelo por sustancias tóxicas puede en muchos casos percibirse con facilidad, especialmente en los conglomerados urbanos.

Sin embargo, más allá de ver el aire sucio, es necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, a través de la medición de los niveles en los que se presentan, tanto espacial como temporalmente, los contaminantes que tienen efectos sobre la salud.

Los contaminantes del aire se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterios se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.

Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EEUU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término "contaminantes criterio" ha sido adoptado en muchos países.

Los siguientes son los contaminantes criterios los cuales fueron medidos durante el estudio:

**Dióxido de azufre:** Gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida. Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema.

**Dióxido de nitrógeno:** gas café rojizo de olor picante que al oxidarse y sufrir reacciones fotoquímicas se combina con agua y forma ácido nítrico y otros compuestos. Irrita los pulmones, agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

**Monóxido de carbono:** Gas incoloro e inodoro producto de la combustión incompleta, que se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina y puede llegar a concentraciones letales. La carboxihemoglobina afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales, cardiacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.

**Ozono:** forma halotrópica del oxígeno, incoloro y gaseoso, que se produce en presencia de la luz solar, hidrocarburos, oxígeno y dióxido de nitrógeno. Oxida materiales no inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso. Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

**Plomo:** metal pesado que se presenta en forma de polvo, aerosol o vapor. Se acumula en los órganos del cuerpo, causa anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central (saturnismo).

## Metodología

El muestreo se realizó en siete puntos diferentes de la ciudad de Alajuela y el muestreo se efectuó del 22 de octubre al 01 de noviembre del 2013, el comportamiento del clima es el siguiente:

Tabla N°1 Información climatológica\*.

Mes	Temperatura media °C		Precipitación media (mm)	Número medio de días de precipitación
	Mínima diaria	Máxima diaria		
Octubre	17.6	27.1	338.5	25.5
Mayo	19.0	28.8	259,3	21

\*Datos según el Instituto Nacional de Meteorología

Es importante detallar que octubre fue el segundo mes en precipitación total el primero fue setiembre con 340.6 (mm).

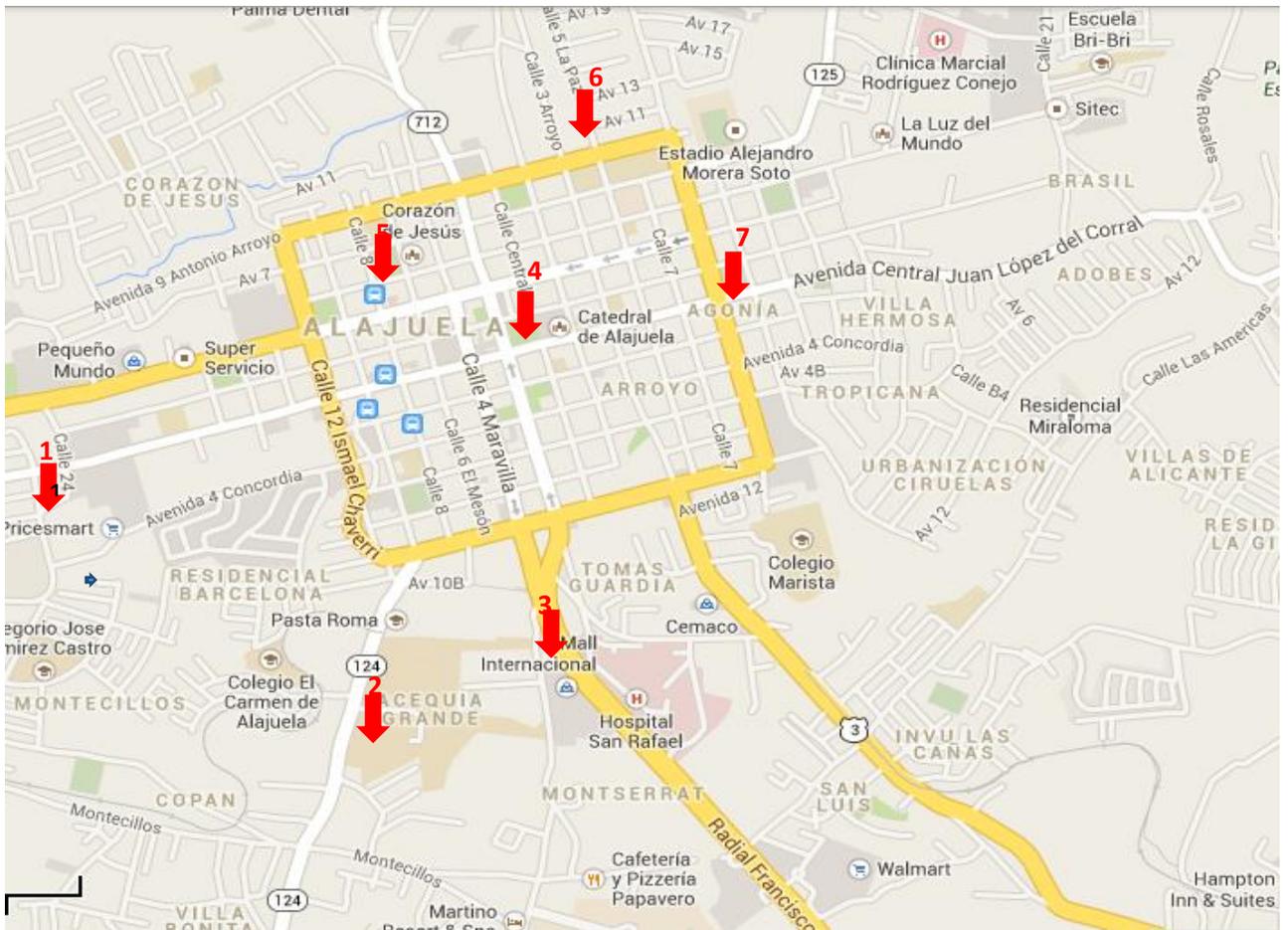
Los lugares de muestreo fueron los siguientes: Parqueo del costado sur de la iglesia de la Agonía, PriceSmart Alajuela contiguo a Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) Caseta de seguridad costado norte de tribunales de Justicia, UTN sede Central, Parqueo frente Universal, Mall Internacional, UTN Balcón oeste, edificio Luis Alberto Monge Clínica San Miguel, EDICA Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

Los sitios de muestreo escogidos estas basados en las indicaciones del artículo 6 del decreto 30221-S.

“Artículo 6.- Representatividad de las Estaciones de Muestreo. El emplazamiento de las estaciones de muestreo se ajustará a las siguientes disposiciones;

Deberán situarse las estaciones cercanas a zonas industriales o bien en núcleos urbanos con alta densidad de tráfico vehicular.

Deberán situarse las estaciones cercanas a zonas industriales o bien en núcleos urbanos con alta densidad de tráfico vehicular.



Los análisis hechos en cada uno de los puntos son los siguientes:

1. Análisis inmisiones que incluye: Partículas menores o iguales a 10µm (PM-10), Pb, Cd, Hg,As, Cr.
2. Análisis inmisiones que incluye: Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
3. Análisis inmisiones que incluye: Óxidos de nitroso (NOX).
4. Análisis inmisiones que incluye: monóxido de carbono (CO).
5. Análisis inmisiones que incluye: compuestos orgánicos volátiles (COV's)

Los métodos de análisis utilizados para la determinación son los siguientes:

1. PMA 022 Partículas PM-10 en aire ambiente, método modificado basado en:Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix B, revised July 1, 2000, U.S.A.
2. PMA 031 Dióxido de azufre, método modificado basado en: Método 704B. Métodos normalizados para el análisis y muestreo de aire. AWMA, ACS, APWA, ASME, AOAC.
3. PMA 032 Dióxido de nitrógeno, método modificado basado en: Método 406. Métodos normalizados para el análisis y muestreo de aire. AWMA, ACS, APWA, ASME, AOAC.
4. PMA 034 Monóxido de Carbono, método modificado basado en: Code of FederalRegulations 40, Part 50, appendix C, revised July 1, 2000, U.S.A.
5. PMA-037Metales en material particulado, método modificado basado en: Método 303A. Métodos normalizados para el análisis y muestreo de aire. AWMA, ACS, APWA, ASME, AOAC.
6. PMA 049 Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire mediante tubo de desorción térmica: Método TO-17 "Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes" EnvironmentalProtection Agency: Estados Unidos,1999.

Se instaló equipo especial para la recolección de las muestras 24 horas.Los análisis fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional laboratorio acreditado por ECA y es acreditado a partir de: 10.10.2005.

## Resultados y análisis

Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla N°2 (de octubre)

Análisis	Unidades	Muestra N°1		Muestra N°2		Muestra N°3		Muestra N°4		Valor máximo permisible
		Oct		Oct		Oct		Oct		
PM-10 <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	30±3		31±3		21±3		19±3		150
SO <sub>2</sub> activo <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	<9		<9		<9		<9		365
NO <sub>2</sub>	µg/Nm <sup>3</sup>	22±2		19±2		13±1		14±1		n.a
CO	mg/m <sup>3</sup>	-		-		-		-		n.a
Cromo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	7.3±0.7		8.7±0.9		5.0±0.5		3.9±0.4		n.a

Plomo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	3.5±0.3		5.0±0.5		3.4±0.3		21±2		n.a
Cadmio (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	0.56±0.06		0.71±0.07		0.41±0.04		0.017 ± 0.002		n.a
Arsénico (PM-10)	µg/Nm <sup>3</sup>	nd		nd		nd		nd		n.a
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		nd		n.a
Tolueno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		nd		n.a
O-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		nd		n.a
m-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		nd		n.a
p-xileno	mg/m <sup>3</sup>	<2	nd	<2		<2		<2		n.a

Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla N°2 (de octubre)

Análisis	Unidades	Muestra N°5		Muestra N°6		Muestra N°7		Valor máximo permisible
		Oct		Oct		Oct		
PM-10 <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	21±3		19±3		27±3		150
SO2 activo <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	<9		<9		<9		365
NO2	µg/Nm <sup>3</sup>	15±2		15±1		18±1		n.a
CO	mg/m <sup>3</sup>	-		1		1		n.a
Cromo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	8.9±0.9		12±0.9		6.4±0.9		n.a
Plomo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	5.5±0.6		2.3±0.2		2.6±0.3		n.a
Cadmio (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	0.51±0.05		0.61±0.06		0.39±0.04		n.a
Arsénico (PM-10)	µg/Nm <sup>3</sup>	nd		nd		nd		n.a
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		n.a
Tolueno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		n.a
O-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		n.a
m-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd		nd		nd		n.a
p-xileno	mg/m <sup>3</sup>	<3		nd		nd		n.a

nd: no detectado n.a: No aplica

La incertidumbre de la medición se determina para un factor de cobertura k=2 correspondiente a un nivel de confianza del 95%.

Los límites máximos de inmisión corresponden a los valores de referencia para un promedio aritmético en 24 horas de muestreo, según Decreto Ejecutivo N° 30221-S Reglamento sobre inmisión de contaminantes atmosféricos publicado en el alcance N°25 de la gaceta N°57 del jueves 21/03/2002.

Descripción de la muestra:

Muestra N°1: muestra de inmisiones tomada en el parqueo del costado sur de la iglesia de la Agonía. Coordenadas geográficas: N 10°01′′02” O 84°13′′01”

Muestra N°2: Muestra de inmisiones tomada en Price Smart Alajuela contiguo a Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) Coordenadas geográficas: N 10°00′′42” O 84°13′′23”

Muestra N°3: Muestra de inmisiones tomada en caseta de seguridad costado norte de tribunales de Justicia Coordenadas geográficas: N 10°01′′16” O 84°12′′54”

Muestra N°4: Muestra de inmisiones tomada en UTN sede Central, Coordenadas geográficas: N 10°01′′02” O 84°13′′01”

Muestra N°5: Muestra de inmisiones tomada en parqueo frente Universal, Mall Internacional, Coordenadas geográficas: N 10°08′′22” O 84°17′′43”

Muestra N°6: Muestra de inmisiones tomada en UTN Balcón oeste, edificio Luis Alberto Monge Coordenadas geográficas: N 10°03′′52” O 84°10′′31”

Muestra N°7: Muestra de inmisiones tomada en Clínica San Miguel, Alajuela Coordenadas geográficas: N 10°01′′02” O 84°13′′01”

Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla N°3 (de mayo)

Análisis	Unidades	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3		Muestra N°4		Valor máximo permisible
		Mayo	Mayo		Mayo		Mayo	
PM-10 <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	28±3	14±3		31±3		20±3	150
SO2 activo <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	<9	<9		14±8		12±8	365
NO2	µg/Nm <sup>3</sup>	10±5	18±3		19±3		17±3	n.a
CO	mg/m <sup>3</sup>	-	-		-		-	n.a
Cromo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	87±9	43±4		43±4		44±4	n.a
Plomo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	5.4±0.5	2.5±0.2		4.3±0.4		3.9±0.04	n.a
Cadmio (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	0.62±0.06	0.22±0.02		0.26±0.03		0.028±0.03	n.a
Arsénico (PM-10)	µg/Nm <sup>3</sup>	0.37±0.04						n.a
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd		nd		nd	n.a
Tolueno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd		nd		nd	n.a
O-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd		nd		nd	n.a
m-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd		nd		nd	n.a
p-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd		nd			n.a

Análisis	Unidades	Muestra N°5		Muestra N°6		Muestra N°7		Valor máximo permisible
		Oct	Mayo	Oct	Mayo	Oct	Mayo	
PM-10 <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	21±3	32±3	19±3	39±3	27±3		150
SO2 activo <sup>1</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	<9	<9	<9	<9	<9		365
NO2	µg/Nm <sup>3</sup>	15±2	18±3	15±1	22±3	18±1	23±3	n.a
CO	mg/m <sup>3</sup>	-	-	1	-	1	-	n.a
Cromo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	8.9±0.9	41±4	12±0.9	43±4	6.4±0.9	45±4	n.a
Plomo (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	5.5±0.6	4.0±0.4	2.3±0.2	4.8±0.5	2.6±0.3	23±2	n.a
Cadmio (PM-10)	ng/m <sup>3</sup>	0.51±0.05	0.21±0.02	0.61±0.06	0.19±0.02	0.39±0.04	0.33±0.03	n.a
Arsénico (PM-10)	µg/Nm <sup>3</sup>	nd	0.61±0.06	nd	nd	nd	nd	n.a
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd	nd	nd	nd		n.a
Tolueno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd	nd	nd	nd		n.a
O-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd	nd	nd	nd		n.a
m-xileno	mg/m <sup>3</sup>	nd	nd	nd	nd	nd		n.a
p-xileno	mg/m <sup>3</sup>	<3	nd	nd	nd	nd		n.a

nd: no detectado n.a: No aplica

La incertidumbre de la medición se determina para un factor de cobertura  $k=2$  correspondiente a un nivel de confianza del 95%.

Los límites máximos de inmisión corresponden a los valores de referencia para un promedio aritmético en 24 horas de muestreo, según Decreto Ejecutivo N° 30221-S Reglamento sobre inmisión de contaminantes atmosféricos publicado en el alcance N°25 de la gaceta N°57 del jueves 21/03/2002.

Descripción de la muestra:

Muestra N°1: Muestra de inmisiones tomada en Clínica San Miguel, Alajuela Coordenadas geográficas: N 10°01'02" O 84°13'01"

Muestra N°2: Muestra de inmisiones tomada EDICA Aeropuerto Internacional Juan Santamaría Coordenadas geográficas: N 09°59'57" O 84°12'07"

Muestra N°3: Muestra de inmisiones tomada en UTN sede Central, Coordenadas geográficas: N 10°01'02" O 84°13'01"

Muestra N°4: Muestra de inmisiones tomada en caseta de seguridad costado norte de tribunales de Justicia Coordenadas geográficas: N 10°01'16" O 84°12'54"

Muestra N°5: muestra de inmisiones tomada en el parqueo del costado sur de la iglesia de la Agonía. Coordenadas geográficas: N 10°01'02" O 84°13'01"

Muestra N°6: Muestra de inmisiones tomada en Price Smart Alajuela contiguo a Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) Coordenadas geográficas: N 10°00′42″ O 84°13′23″

Muestra N°7: Muestra de inmisiones tomada en Clínica San Miguel, Alajuela Coordenadas geográficas: N 10°01′02″ O 84°13′01″

### **Conclusiones**

1. El orden del muestreo por facilitar la investigación fue variado y en la segunda medición se incluyó el aeropuerto por considerarse de importancia para este trabajo además en la segunda medición se hace dos muestreos en la Clínica San Miguel por ser un lugar muy representativo por la ubicación del mismo.
2. Es importante señalar que, aunque los parámetros están por debajo de los límites según el decreto ejecutivo mencionado hay unas sustancias que, aunque en pequeñas cantidades pueden causar daños en la salud y en el ambiente y es necesaria su seguimiento, por ejemplo: hay un aumento considerable en las PM-10 en las mediciones hechas en el mes de mayo. La complejidad del PM, que en realidad es una mezcla de partículas con distinta composición química, tamaño, morfología y propiedades da lugar a un problema difícil de abordar y que requiere una atención prioritaria
3. A partir de dichos análisis se trata de determinar la relación dosis-respuesta, lo cual incluye la identificación del nivel más bajo de contaminación que es capaz de causar un impacto en la salud de algún grupo de la población.
  - Es necesario, por ejemplo, saber cuál es la concentración más baja de cadmio capaz de producir una disminución (por pequeña que esta sea) en la capacidad respiratoria de individuos susceptibles como los asmáticos. Una vez identificado este límite, se incluye un margen de seguridad para proporcionar mayor certeza de que la inmensa mayoría de la población, si no es que toda, estará protegida si no se rebasa el límite de contaminación así establecido.