

# *Sistema de indicadores de la calidad del aire* para puertos marítimos colombianos

## *Air quality indicators system* for colombian sea port areas

*Recibido para evaluación: 19 de Agosto de 2010*  
*Aceptación: 04 de Noviembre de 2010*  
*Recibido versión final: 20 de Diciembre de 2010*

**José Fernando Jiménez Mejía<sup>1</sup>**  
**David Esteban Pulgarín Calle<sup>2</sup>**

### RESUMEN

La calidad del aire en las zonas aledañas a los puertos requiere un monitoreo permanente y cualificado de un conjunto de variables que sirven para calificar los riesgos asociados a las diversas actividades que allí se realizan. La normativa ambiental vigente en Colombia establece topes admisibles para los contaminantes atmosféricos, los cuales se consideran valores de referencia para definir, junto con las variables mencionadas, unos indicadores ambientales adecuados. Este artículo presenta la propuesta entregada, en diciembre de 2009, al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, para la implementación de un Sistema de Vigilancia de la calidad del aire en puertos marítimos y sus áreas de influencia. La propuesta hace parte de un estudio más amplio de seguimiento ambiental permanente en varias áreas portuarias marítimas de Colombia.

**Palabras Clave:** Puertos marítimos, calidad del aire, Indicadores ambientales.

### ABSTRACT

The air quality in the neighborhood of port zones requires a qualified and permanent monitoring program, for a set of variables needed to quantify the risks associated with port activities. The environmental Colombian normative settles the admissible tops for air pollutants, that acts as reference values, with the mentioned variables, to establish some environmental indicators. This paper presents a proposal delivered to the Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Colombia, in December 2009, for the building of an Air Quality Watching System in sea ports and their influence areas. This work is part of a more comprehensible project for an environmental permanent follow-up proposal in several sea port areas of Colombia.

**Key Words:** Sea ports, air quality, environmental indicators.

---

**1. Ing., Profesor Asociado,**  
**Escuela de Geociencias y Medio Ambiente**

**Centro de Investigaciones del Clima de Colombia (CICLICO)**

**2. Ing. Estudiante Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo**  
**Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.**

**Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín**

***jffimene@unal.edu.co***

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES



La construcción de un sistema de indicadores ambientales en áreas portuarias requiere una visión integral de los medios físico, biótico y social. Específicamente en el medio físico, se puede incluir los componentes suelo, aire, agua dulce y sedimentos, océano, geomorfología y operaciones portuarias, tal y como se hizo en el marco del estudio *Diseño de un Programa de Seguimiento Ambiental Permanente del Estado de los Recursos Naturales en varias Áreas Portuarias del País*, presentado por la Universidad Nacional de Colombia al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, en el año 2009.

El análisis concerniente a la gestión de la calidad del aire se ciñó al esquema planteado en el primer artículo de esta revista, de Osorio y Quintana, el cual consiste en tres etapas básicas: diagnóstico de las condiciones ambientales afectadas por el puerto; identificación de impactos, amenazas y vulnerabilidad; y definición de los indicadores requeridos para poner en marcha el Plan de Monitoreo.

Los puertos considerados en este estudio se clasificaron en dos grupos: puertos monopropósito, con cargas de un solo tipo, por ejemplo carbón o clinker, como Puerto Bolívar y Colclinker; y puertos multipropósito, destinados al embarque y desembarque de diferentes tipos de carga, como los de las Sociedades Portuarias de Santa Marta y Buenaventura, donde las condiciones de riesgo ambiental asociadas a la operación del puerto son relativamente más complejas si se las compara con las correspondientes a los puertos del primer grupo.

Antes de adentrarnos en el tema de los indicadores, y de un modo muy sintético, conviene decir que el diagnóstico de los sistemas de monitoreo meteorológico, de la calidad del aire y de producción de ruido en los nueve puertos colombianos considerados en este estudio, mostró el cumplimiento sólo parcial de la normativa nacional que aplica para tales casos. En otras palabras, se observaron falencias en la dotación, ubicación y mantenimiento de algunos equipos de medición, así como deficiencias en el monitoreo de algunas especies contaminantes, vacíos en la documentación que debe acompañar los ejercicios de modelación de la dispersión atmosférica y, lo que es muy importante, problemas en el manejo de la información por parte de todas las instituciones que participan en el sistema actual. Sin embargo, se pudo constatar el esfuerzo que hacen algunos puertos para mantener un control eficiente de las condiciones ambientales que afectan o pueden poner en riesgo las poblaciones vecinas a las áreas portuarias.

El Protocolo de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (MAVDT, 2008) define cinco (5) categorías de indicadores de la Gestión de la Calidad de Aire, a saber: **(1) Presión, (2) Estado, (3) Respuesta, (4) Exposición y (5) Salud**. No obstante, el presente trabajo sólo plantea propuestas en relación con las primeras cuatro categorías, dejando un poco de lado los indicadores de salud, pues el MAVDT consideró, en su momento, que éstos eran temas de directa competencia de las autoridades de salud (Ministerio de la Protección Social de Colombia). Por supuesto, dado que el tema de la salud no puede quedar completamente al margen del sistema de monitoreo ambiental, en coordinación con el grupo encargado del componente social para el estudio en cuestión, se diseñó un indicador de salud para las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de las zonas portuarias.

## 2. DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE

Una vez clasificados los puertos según tipo (monopropósito y multipropósito) e identificadas las actividades portuarias básicas, el procedimiento para la evaluación de los impactos ambientales requiere la definición de las variables de análisis, las cuales se agrupan, para el caso de la calidad del aire, en cinco categorías: meteorológicas, de contaminación, de exposición, presión y respuesta. A continuación, se presentan brevemente cada una de éstas.

· **Meteorología:** los aspectos más relevantes a monitorear son: a) el régimen superficial de vientos (dirección, intensidad, frecuencia y hora del día), el cual está asociado con la capacidad y dirección de barrido de los contaminantes atmosféricos; b) precipitación, útil para estimar las condiciones de remoción húmeda de contaminantes; c) otras variables (temperatura, humedad, presión, radiación solar y nubosidad) que informan acerca de las condiciones específicas en puerto y sirven para validar modelos de simulación sobre las condiciones atmosféricas y de dispersión de contaminantes.

· **Contaminación del aire:** por contaminación del aire, se entiende la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables en concentración, tiempo y circunstancias tales que pueden perjudicar la salud de los seres vivos, la estabilidad de los ecosistemas o afectar algunos bienes materiales. Los principales contaminantes del aire se dividen en dos grupos para su monitoreo y análisis: por un lado el material particulado (polvo hollín, ceniza) y los aerosoles; por el otro, los gases contaminantes (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, hidrocarburos volátiles, COV, y ozono troposférico), algunos de los cuales están asociados a actividades portuarias específicas de los puertos multipropósito. La tabla 1 muestra los requerimientos de monitoreo de contaminantes según el tipo de puerto.

Contaminante	Puerto multipropósito	Puerto monopropósito
PST	X	X
PM10	X	X
PM2.5	X	X
CO (*)	X	
CO <sub>2</sub> (*)	X	
SO <sub>2</sub> (*)	X	
NO <sub>x</sub> (*)	X	
Ruido ambiental	X	X

\*: En campañas de observación intensa, tal y como se propone en el Plan de Monitoreo (Jiménez, 2009).

**Tabla 1. Variables de contaminación para el monitoreo de la calidad del aire**

La Resolución 909 (MADVT, 2008) sobre fuentes fijas exige a todos los puertos el monitoreo del material particulado, sin especificar la fracción de tamaño (es decir, partículas suspendidas totales, PST, cuyo tamaño es igual o menor a 100 µm; o PM10 y PM2.5, que son partículas con tamaños inferiores a 10µm y 2.5 µm respectivamente). Sin embargo, el monitoreo de PST que se lleva a cabo en casi todos los puertos con algunas diferencias metodológicas, debe mantenerse, pues en varios de ellos se está al límite de sobrepasar o se sobrepasa la norma nacional vigente, y este monitoreo sirve como referencia para evaluar la efectividad de las medidas de control aplicadas. Pero, además, se debe reglamentar progresivamente el monitoreo de partículas más finas - PM10 por ejemplo -, debido a que la presencia de éstos trae efectos perjudiciales para la salud de las personas y a que, en razón a sus características físicas, puede ser más extendida su dispersión. (Correa, 2009).

· **Ruido ambiental:** Los efectos dañinos en la salud derivados del ruido ambiental no deben identificarse estrictamente con la manifestación de una enfermedad. En tal sentido, la salud es más bien un estado de bienestar físico, psíquico y social, o una situación de armonioso equilibrio con el entorno, que nos preserva de los riesgos asociados con determinada enfermedad (véase: Norma de Ruido Ambiental, IDEAM, 2006). Según la Norma de Calidad del Aire (IDEAM, 2005), dentro de los efectos constatados del ruido, se destacan la pérdida de la capacidad auditiva (hipoacusia), las alteraciones del sueño, presión arterial o ritmo cardíaco, las cefaleas crónicas y el aumento de la probabilidad de sufrir infartos. El ruido también incide en los estados de estrés e irritabilidad, capaces de alterar la capacidad de concentración, aprendizaje y productividad, provocando en ocasiones accidentes de tráfico o laborales. El ruido dificulta la comunicación, pone el cuerpo en alerta, reduce los niveles de energía y puede causar cambios químicos en la sangre y en el volumen de la circulación sanguínea. El natural instinto defensivo del organismo se pone en funcionamiento frente a un ruido, identificándolo con una señal posible de amenaza; por ello, la reiteración de esas falsas señales de alarma minan poco a poco la capacidad de reacción del organismo y, en definitiva, su equilibrio natural. La exposición a altos niveles de ruido puede causar efectos agudos (ocurre en periodos cortos de exposición, por lo

general minutos u horas) y crónicos (que ocurre en periodos largos de exposición; es decir, un año o más) en la salud. Usualmente los efectos agudos son inmediatos y reversibles; mientras los efectos crónicos tardan en manifestarse, duran indefinidamente y tienden a ser irreversibles. Las condiciones de ruido se caracterizan con base en la intensidad, el tiempo de exposición, las características del ambiente y la distancia de la fuente. La tabla-2 resume los efectos del ruido ambiental en la calidad de vida de las personas.

**Tabla 2. Efectos del ruido en la calidad de vida (Norma de Calidad del Aire. IDEAM, 2005)**

dB	Efecto
30	Dificultad para conciliar el sueño
40	Dificultad en la comunicación verbal
45	Probable interrupción del sueño
50	Malestar diurno moderado
55	Malestar diurno fuerte
65	Comunicación verbal extremadamente fuerte
85	Pérdida del oído a largo plazo
110 - 140	Pérdida del oído a corto plazo

**Tabla 3. Norma nacional de niveles de ruido ambiental por zona. (Resolución 627/2006, MAVDT)**

Sector	Descripción	dB	dB
		(diurno)	(nocturno)
A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
	Zonas exclusivamente destinadas al desarrollo habitacional	65	50
B. Tranquilidad y ruido moderado	Universidades, colegios, escuelas		
	Zonas industriales	75	70
	Zonas comerciales	70	55
	Zonas de oficinas o institucionales	65	50
C. Ruido intermedio restringido	Vías troncales, autopistas, vías principales	80	70
	Rural habitada destinada a la explotación agropecuaria	55	45
	Zonas de recreación y descanso		

Los valores de referencia para **emisión de ruido** en áreas portuarias corresponden al sector C (Ruido Intermedio Restringido), en el subsector *Zonas industriales*, las cuales se considera que operan 24 horas en tres turnos o quizá 16 horas en dos turnos.

· **Exposición:** Aunque se tiene cierta claridad acerca de los contaminantes atmosféricos que pueden producir deterioros en la salud, subsisten muchos interrogantes sobre efectos específicos asociados con la agregación de contaminantes y la identificación y evaluación de los riesgos por exposición (Health Canada, 2005). También está por evaluar cómo las condiciones de desigualdad socio- económica se correlacionan con la vulnerabilidad de la población ante los efectos contaminantes del ruido y los aspectos de «justicia ambiental» que de ello se derivan (Marshall, 2009; Winer, 2009). A partir de la definición de variables de exposición se busca, por una parte, que el puerto identifique y reconozca la existencia de sus comunidades próximas, para lo cual se propone que los puertos dispongan de una cartografía social detallada en la zona ambiental de influencia, la cual se superpondría a los resultados de los modelos de dispersión. Este procedimiento serviría para definir los grupos de población expuestos a los contaminantes y facilitar el flujo oportuno de información a poblaciones en situación de riesgo.

· **Presión sobre el medio:** Con el fin de realizar inventarios de emisiones que complementen el sistema de monitoreo en la gestión de la calidad del aire, se requiere información precisa para establecer factores de emisión adecuados a la situación tecnológica en cada puerto. Esta información también es necesaria para el desarrollo de modelaciones de la calidad del aire en áreas portuarias. Los últimos estudios de este tipo incluyen tanto el tráfico terrestre como el marítimo, ya que ambos suponen un consumo importante de combustibles fósiles (Lucciali, 2007). En consecuencia, se proponen las siguientes siete (7) variables de presión: tipos de vehículos terrestres en puerto, por tonelaje; densidad de vehículos terrestres por tipo; tipo de barcos por capacidad de carga; densidad de barcos por tipo; tipos de combustibles por vehículo o barco; emisiones de material particulado debido a tráfico terrestre; emisiones de material particulado debido al manejo de carbón o clinker (donde aplique).

· **Respuesta:** la definición de variables de respuesta busca informar acerca de los esfuerzos realizados para gestionar la problemática de calidad del aire. Las variables que aquí se proponen son tres (3): cantidad de mecanismos formales para incorporar grupos interesados en el desarrollo de planes de acción ambiental y manejo de riesgo; cantidad de asociaciones involucradas en la investigación ambiental en calidad del aire a escala local y regional; índice de atención de quejas de la comunidad y requerimientos de las autoridades.

### 3. DEFINICIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL AIRE

Los aspectos técnico- científicos que componen la gestión de la calidad del aire, en el área de especies contaminantes, son, sin orden específico: inventarios de emisiones, monitoreo de contaminantes, modelación de la dispersión. La actual legislación y normativa ambiental portuaria del país incorpora estos tres aspectos y el Sistema de Vigilancia debe fijar metas concretas para la mejora continua de estos indicadores, como única herramienta para abordar una situación que es objeto permanente de gestión e investigación a nivel nacional e internacional. Los indicadores iluminan y reflejan las directrices conceptuales y operativas necesarias para preservar y mejorar las condiciones ambientales en las áreas portuarias.

Por otra parte, el MAVDT y el IDEAM han establecido un conjunto de manuales y protocolos de diseño y gestión donde se especifican las metodologías y técnicas válidas para el monitoreo de la calidad del aire respecto a especies contaminantes y ruido ambiental. Los protocolos incluyen guías para el manejo y reporte adecuado de información, desarrollo de inventarios de emisiones, equipos a utilizar, reporte de mantenimiento y calibración de los mismos, entre otros. La construcción de los indicadores se ciñe al siguiente marco normativo de carácter general:

- Norma Técnica Colombiana 3704. Determinación de la Concentración de Partículas Suspendidas en el Aire Ambiente. 1995.
- Documento de Análisis e Interpretación de Datos de la Calidad del Aire. IDEAM, 2005.
- Lista de Laboratorios Ambientales Aceptados por el IDEAM, según Resolución 0292 y Decreto 2570, de 2006.
- Variables del Sistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE- IDEAM) y procedimientos para validar la información generada por las redes de calidad del aire.

De este modo, la selección de indicadores se apoyó en el Protocolo de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT (2008), el cual define cinco (5) categorías que brindan herramientas e información para la Gestión de la Calidad de Aire: presión, estado, respuesta, exposición y salud. Sin embargo, aquí se propone utilizar sólo las variables de contaminación, presión, respuesta y exposición, las que sirvan para construir los indicadores específicos de la calidad del aire.

#### 3.1. Indicadores de presión

El marco normativo que determina la construcción de estos indicadores es el siguiente:

- Documento técnico sobre criterios a tener en cuenta para el desarrollo de un inventario de emisiones. IDEAM, 2005.
- Resolución 909 sobre fuentes fijas. MAVDT, 2008.
- Manual de inventarios de emisiones según propósito. MAVDT, 2008.
- Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. MAVDT, 2009.



Los indicadores de presión propuestos se listan a continuación:

**Indicador 1. Tráfico:** Se define como la «Distancia recorrida por vehículo por unidad de tiempo, discriminada por tipo de vehículo y tipo de combustible». Este indicador consiste en elaborar los inventarios de emisiones de fuentes móviles en el área del puerto y en describir la flota vehicular que interviene en la actividad portuaria, sea terrestre o marítima. En tal caso, interesa la información sobre tipo de vehículos, capacidad de carga y tipo de combustible utilizado; además, se requieren estimativos acerca de la velocidad promedio de circulación de los vehículos en el puerto, distancias recorridas y tiempo de estacionamiento.

**Indicador 2. Emisiones de material particulado PST y PM10:** *Concentración o caudal de material particulado, PST y PM10, en unidades mg/m<sup>3</sup>.* Este indicador de emisiones, que da cuenta de la descarga de material particulado vertido a la atmósfera en un tiempo determinado desde una fuente fija o móvil, responde a los requerimientos de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT para emisión, en la cual no se especifican tamaños. Aquí se propone continuar con el monitoreo de PST, tal y como se realiza actualmente, debido a que esta información sirve como referencia para el análisis de las medidas de control de la contaminación por material particulado en las áreas portuarias. A medida que se cualifique el monitoreo de la calidad del aire, deberá implementarse el monitoreo de PM10, por su incidencia en la salud de las personas (Correa, 2009); con el tiempo se esperaría tener información de PM2.5, la cual puede servir para contrastar con los valores correspondientes a PM10. En los puertos con cargas de carbón, clinker y/o tránsito de vehículos sobre vías sin pavimentar, se requiere un estimativo de la distribución granulométrica de estos materiales, de modo que se pueda hacer una aplicación adecuada de los factores de emisión reportados en la compilación AP42 de la Agencia norteamericana EPA (*Environmental Protection Agency*).

**Indicador 3. Emisiones de gases contaminantes:** *Concentración promedio (ig/m<sup>3</sup> o ppm) de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.* Este indicador responde a los requerimientos de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT. Aplica para los puertos multipropósito que poseen equipos de incineración y donde hay circulación de vehículos de carga a diesel (terrestres, marítimos o fluviales). El indicador debe construirse con base en inventarios de emisiones, y utilizando factores de emisión apropiados (Jiménez, 2009).

**Tabla 4. Estándares admisibles de emisión de contaminantes al aire para actividades industriales. Condiciones de referencia: 25°C y 760 mm Hg, con oxígeno del 11%**

Contaminante	Flujo de contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales existentes
Material particulado (MP)	≤0.5	250	150
	>0.5	150	50
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	>0.5	550	500
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	TODOS	550	500
Compuestos de fluor inorgánico (HF)	TODOS		8
Compuestos de cloro inorgánico (HCl)	TODOS		40
Hidrocarburos totales (HC <sub>T</sub> )	TODOS		50
Dioxinas y furanos	TODOS		0.5(*)
Nebolina ácida o trióxido de azufre expresados como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	TODOS		150
Plomo (Pb)	TODOS		1
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS		1
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS		8

\*Las dioxinas y furanos se expresan en las siguientes unidades: (ng-EQT/m<sup>3</sup>), EQT: Equivalencia de toxicidad.

### 3.2. Indicadores de estado

**Indicador 4. Inmisiones de material particulado pst y pm10:** *Concentración (ig/m<sup>3</sup>) de PST y PM10.* En principio, este indicador de inmisiones, que mide la concentración de contaminantes en el aire que se respira a nivel del suelo, verifica el cumplimiento de la Norma

Nacional de Calidad del Aire, Resolución 601 de 2006 del MAVDT; y a medida que las normas nacionales se vuelvan un poco más estrictas, será necesario implementar el monitoreo de PM2.5. Atendiendo las recomendaciones del INVEMAR y del MAVDT, los puertos multipropósito deben hacer análisis mineralógico de los filtros de PST en busca de trazas de fertilizantes en el aire, como sulfatos o fosfatos, que pudieran alterar el equilibrio de los ecosistemas cercanos a los puertos.

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{cm}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM10	$\mu\text{g}/\text{cm}^3$	70	Anual
		150	24 horas
SO <sub>2</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
		0.053 (100)	Anual
NO <sub>2</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
		0.041 (80)	8 horas
O <sub>3</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.061 (120)	1 hora
		8.8 (10)	8 horas
CO	ppm ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	35 (40)	1 hora

**Tabla 5. Niveles máximos permisibles de contaminantes atmosféricos (inmisión). Resolución 601 de 2006 del MAVDT (condiciones de referencia: 25°C, 760 mm Hg)**

**Indicador 5. Inmisiones de gases contaminantes:** *Concentración promedio (ig/m<sup>3</sup> o ppm) de CO<sub>2</sub>, CO, NOx y SO<sub>2</sub>.* Este indicador que aplica para los puertos multipropósito, responde a los requerimientos de la Norma Nacional de calidad del aire, Resolución 601 de 2006 del MAVDT. La información necesaria para la construcción del indicador se debe obtener a partir de campañas de monitoreo en los puertos. Las campañas aplican, en principio, para contaminantes criterio (CO, CO<sub>2</sub>, NOx, SO<sub>2</sub>); en algunos casos se recomienda el monitoreo de compuestos orgánicos volátiles, específicamente benceno y otros hidrocarburos. Tanto para el indicador 4 como para éste, el marco normativo Nacional específico es el siguiente:

- Resolución 601 del MAVDT de 2006. Norma Nacional de la Calidad del Aire.
- Protocolo de Redes de Vigilancia de la Calidad del Aire. IDEAM, 2008
- Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. MAVDT, 2009.

**Indicador 6. Ruido ambiental y emisión de ruido,** definido como: *Niveles de ruido ambiental y emisión de ruido.* Este indicador busca el cumplimiento de la Resolución 627 de 2006, del MAVDT, y del Protocolo para la medición de emisiones de ruido, ruido ambiental y mapas de ruido del MAVDT, 2009. Durante el periodo de tiempo que dura la medición de un ruido, se obtienen niveles sonoros instantáneos que varían con el tiempo, dado lo cual es posible calcular la energía total emitida en el tiempo de medición. Luego, para determinar el nivel sonoro equivalente, se calcula el nivel de sonido que aportaría la misma cantidad de energía que la del sonido variable. Las mediciones de *ruido ambiental y emisión de ruido* deben realizarse durante siete (7) días por cada semestre del año, con una duración de 24 horas por día.

### 3.3. Indicadores de respuesta

Estos indicadores han sido recientemente incorporados a los sistemas de vigilancia. Su calificación requiere especial elaboración, ya que se trata de evaluar la existencia y operatividad de acciones que disminuyan la presión sobre el medio, permitan aumentar el conocimiento sobre la dinámica de los contaminantes y propicien una gestión ambiental participativa e informada. Los indicadores de respuesta propuestos son:

- Mecanismos formales para incorporar a grupos interesados en el desarrollo de planes de gestión ambiental y de gestión del riesgo.



- Asociación para proyectos de investigación ambiental sobre la calidad del aire.
- Atención de quejas de la comunidad y requerimientos de las autoridades ambientales.

Estos indicadores hacen parte del conjunto de los **Indicadores Sociales** (ver: artículo de Montoya, Puerta y González en esta misma edición, específicamente los indicadores 5 y 6) que dan cuenta de la incidencia del puerto en la gobernanza aplicada a la gestión ambiental local y a la participación social en la gestión ambiental.

### 3.4. Indicadores de exposición

**Indicador 7. Exposición a pm10:** A partir de las modelaciones de dispersión de material particulado sobrepuestas a mapas de la población vecina al puerto, se determina la cantidad de personas expuestas a PM10. Además, el **Indicador social 9** (ver: artículo de Montoya, Puerta y González en esta edición) busca dar cuenta del estado de salud de las personas en el área de influencia del puerto. En resumen, el monitoreo ambiental relacionado con las condiciones atmosféricas, en el área de influencia de cada puerto, debe considerar los indicadores que se listan en la tabla 6.

Digamos finalmente que en las fichas anexas al informe final del proyecto de construcción de indicadores para puertos colombianos (Universidad Nacional de Colombia, 2009), se precisa la definición, objetivo, método de medición, forma de presentación y marco normativo aplicable para cada uno de los indicadores. En la tabla 2, se presenta una muestra de este tipo de fichas, correspondiente al Indicador 4 de la calidad del aire.

## 4. implementación del plan de monitoreo

El monitoreo de la calidad del aire en los puertos colombianos debe ir acompañado por el mejoramiento de la red pública de estaciones meteorológicas, la implementación de una red de vigilancia de la calidad del aire en las áreas portuarias urbanas y la exigencia de elaboración de mapas de ruido ambiental en ciudades con más de 100.000 habitantes, para que se pueda contrastar y entender mejor la información reportada desde los puertos. Además, es necesario mejorar la comprensión de los procesos de interacción tierra- océano- atmósfera, a partir de investigaciones de campo y la modelación de los fenómenos dinámicos y termodinámicos relacionados, con el fin de establecer mejor las relaciones entre estos y las actividades que se desarrollan en la zona portuaria, y prever los riesgos que de ellas se derivan.

**Tabla 6. Indicadores de la calidad del aire en zonas portuarias**

Componente	Variables	Indicador	Medición
AIRE	Tráfico	Indicador 1.	Se construye con información de la actividad portuaria a partir de mediciones directas de velocidad promedio en puerto, distancia recorrida y tiempo de estacionamiento para cada tipo de vehículo que participa de la actividad portuaria, sea terrestre o marítima. Se requiere describir la flota vehicular que interviene en el puerto en aspectos como: tipo de vehículo, capacidad de carga y tipo de combustible utilizado.
	Emisiones de material particulado.	Indicador 2.	Inventarios de emisiones de material particulado PST y PM10
	Emisiones de gases contaminantes.	Indicador 3.	Inventarios de emisiones de gases contaminantes
	Concentraciones medidas.	Indicador 4.	Concentraciones de PST, MP10 cerca de las fuentes, 1 día cada 3 días. Con equipos semiautomáticos Hi-VOL
	Concentraciones de gases contaminantes	Indicador 5.	Concentraciones de CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> , cerca de las fuentes, en campañas de monitoreo con duración de 1 mes por año. Las mediciones deben correlacionarse con el nivel de tráfico marítimo y vehicular, la actividad portuaria o industrial en general, el nivel de ocupación de los patios, el



Componente	Variables	Indicador	Medición
			movimiento de carga generadora de material particulado (carbón o clinker, por ejemplo), además de las condiciones meteorológicas y poblacionales del lugar.
	Ruido	Indicador 6. Ruido ambiental	Medición continua de presión sonora en las áreas de acceso vehicular, durante siete (7) días por cada semestre del año, con una duración de 24 horas por día.
	Micrometeorología básica, modelación de la dispersión de contaminantes y cartografía social	Indicador 7. Exposición a PM10	Velocidad y dirección del viento a 2 alturas (diaria). Humedad relativa (diaria). Lluvia (diaria). Radiación solar (diaria). Presión barométrica (diaria). Modelación de la dispersión de contaminantes. Cartografía social.

Indicador: 4. Inmisiones de material particulado PST y PM10	Tipo de indicador según modelo PER (P,E,R): Estado
<p><b>1. Introducción:</b> Para determinar el cumplimiento de las normas ambientales, las tendencias de la dispersión y la exposición a los contaminantes es necesario medir la inmisiones en diferentes sitios del área de influencia portuaria.</p>	
<p><b>2. Situación en el puerto:</b> Se tienen importantes fuentes de material particulado en las pilas de carbón y la combustión de Diesel.</p>	
<p><b>3. Objetivo ambiental:</b> Verificar el cumplimiento de las normas ambientales, brindar información adecuada para la gestión ambiental y de la salud pública.</p>	
<p><b>4. Descripción del indicador:</b></p> <p>a. Definición: Concentración del PST y PM10.</p> <p>b. Unidad de medida: microgramos / metro cúbico.</p> <p>c. Periodicidad: Cada tres (3) días.</p> <p>d. Alcance: Área de Influencia del Puerto.</p>	
<p><b>5. Metodología de cálculo:</b></p> <p>a. Parámetro: Concentraciones medidas.</p> <p>b. Legislación aplicable: *Resolución 601 MAVDT 2006, *Documento de Análisis e Interpretación de Datos de la Calidad del Aire IDEAM 2005, *Criterios de Aceptación para aire y Suelo IDEAM 2006, *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas MAVDT. 2009.</p> <p>c. Herramienta de medición: Medidor Hi Vol semiautomático para PST y PM10.</p> <p>d. Responsable de medición: Profesional de la gestión ambiental.</p> <p>e. Lugar de medición: Área de influencia del puerto.</p>	
<p><b>6. Referencia:</b> *Resolución 601 MAVDT 2006. *Protocolo de Redes de Vigilancia de la Calidad del Aire IDEAM 2008.</p>	

**Tabla 7. Ejemplo de ficha elaborada para el indicador 4: Inmisiones de material particulado PST y PM10**

El monitoreo de la calidad del aire en sí mismo requiere el desarrollo de una metodología que articule un modelo conceptual a partir del cual se definan los objetivos, la escala y el diagnóstico base de las condiciones de calidad del aire en las zonas de interés; una estrategia de muestreo con base en la cual se defina el número de estaciones a instalar, los criterios de localización de las mismas, las técnicas de muestreo, la frecuencia de medición, las campañas

de monitoreo y la elaboración de un inventario de emisiones; y, adicionalmente, la modelación de la dispersión de contaminantes. La mayor parte de estos aspectos están considerados en la normatividad colombiana vigente.

Por otro lado, la sistematización estadística de las afectaciones a la salud de las comunidades vecinas y del mismo personal del puerto, asociadas con la mala calidad del aire, es necesaria para cerrar el círculo del monitoreo a la presión, exposición y respuesta, de modo que se pueda evaluar la efectividad de la gestión ambiental integral.

En cuanto se refiere al desarrollo de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire en las Áreas Portuarias (SVCAAP), se plantea un horizonte de trabajo de 10 años, cuyos logros y alcances dependen de las condiciones actuales de cada puerto, de los recursos disponibles y de las obligaciones de las Autoridades Ambientales. La figura 1 relaciona las escalas «Nivel de resolución» del monitoreo y el «Nivel de respuesta» en la gestión en los aspectos de salud pública y compromiso con el cambio climático global. En cuanto a la salud pública se refiere, el enfoque debe ir desde niveles de exposición local o urbana hasta un estudio más detallado en microambientes; es decir, vías importantes y sitios de confluencia de grupos de población vulnerables, como niños, enfermos y ancianos. Y en cuanto a las medidas que mitigan el cambio climático global, los esfuerzos deben ir dirigidos hacia la elaboración de inventarios de emisiones regionales y la simulación de la dispersión en mesoscala y escala sinóptica. Esto implica que, en un futuro cercano, debemos contar en el país con una plataforma de participación articulada para el monitoreo de la calidad del aire, que no sólo reúna a las capitanías de puerto y las autoridades ambientales regionales y locales, sino también las comunidades, universidades, centros de investigación y demás entes comprometidos con el mejoramiento de las condiciones atmosféricas ambientales. En consecuencia, se plantean tres etapas para la implementación del Sistema de Vigilancia en áreas portuarias.

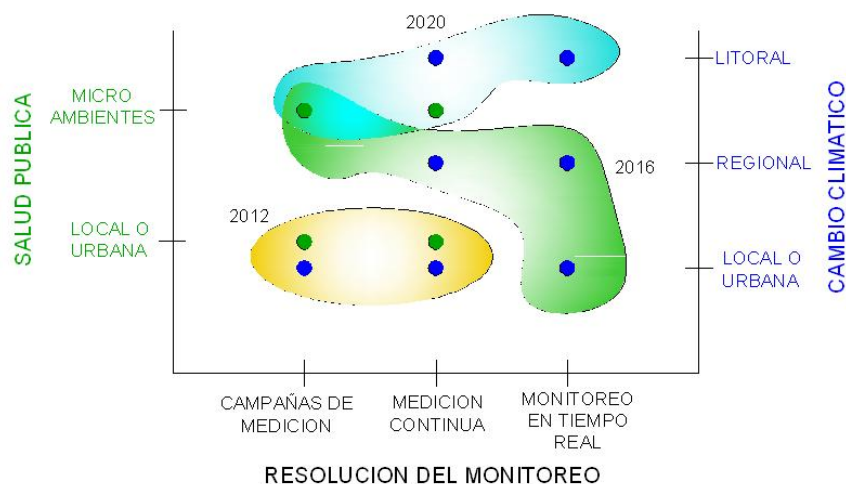


Figura 1. Esquema de Resolución de Medición vs Nivel de Gestión

**Etapa 2012:** todos los puertos deben contar con sistemas para llevar a cabo un monitoreo continuo de las inmisiones de material particulado PST y MP10, de acuerdo con la normativa vigente, de una duración de 1 día cada 3 días. Se debe programar dos campañas de observación intensa en los puertos multipropósito para obtener datos de exposición a gases contaminantes en el área de influencia y estimaciones de los factores de emisión de gases generados como consecuencia de sus principales actividades terrestres, marítimas y/o fluviales. La simulación de dispersión de contaminación requiere cobertura local (el puerto y sus inmediaciones), como lo hacen actualmente los puertos monopropósito, pero a partir de información meteorológica tomada de estaciones propias del puerto.

**Etapa 2016:** En las áreas de exposición de todos los puertos, se debe medir material particulado PM2.5. Las simulaciones de dispersión deben tener cobertura regional, gracias a la articulación entre las autoridades portuarias, las respectivas Corporaciones Autónomas Regionales y demás entidades ambientales responsables. Se recomienda la medición de algunos contaminantes producidos por motores de combustión interna, como benceno y ozono.

**Etapa 2020:** Se propone que para este año, el MAVDT cuente ya con un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire en Áreas Portuarias, totalmente integrado a escala nacional y con la participación de las CAR, del IDEAM, de las Universidades y los Centros de Investigación Ambiental. Se debe hacer estudios específicos en microambientes vulnerables ubicados en vecindades de las zonas portuarias y estudiar la correlación con los estudios sobre morbilidad asociada. A los 10 años de iniciada la construcción del Sistema de Vigilancia, y de acuerdo con la tendencia de la actividad portuaria, se sugiere evaluar la estructura de la red de monitoreo, pues tan pronto se atienda la problemática de exposición a material particulado y se determinen los factores de emisión adecuados, el monitoreo de la calidad del aire debe reenfocarse al análisis de tendencias.

## 5. CONCLUSIONES

La evaluación de las condiciones meteorológicas en las áreas portuarias que fueron objeto del estudio *Diseño de un Programa de Seguimiento Ambiental Permanente del Estado de los Recursos Naturales en varias Áreas Portuarias del País*, presentado por la Universidad Nacional de Colombia al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), en el año 2009, mostró un cumplimiento sólo parcial de la normativa ambiental vigente en Colombia. Concretamente, se observaron algunas falencias en la dotación, ubicación y mantenimiento de equipos de medición, tanto para variables atmosféricas y ruido como para especies contaminantes. Además, se detectaron deficiencias en el manejo de la información recabada por estas instituciones portuarias. Algunos puertos, sin embargo, realizan esfuerzos significativos para mejorar las operaciones de monitoreo.

Los aspectos técnico- científicos que componen la gestión de la calidad del aire, en el área de especies contaminantes, son: inventarios de emisiones, monitoreo de contaminantes y modelación de la dispersión. La actual legislación y normativa ambiental portuaria del país incorpora estos tres aspectos y el Sistema de Vigilancia debe fijar metas concretas para los indicadores, como única herramienta para abordar una situación que es objeto permanente de gestión e investigación a nivel nacional e internacional.

La selección de los siete indicadores de gestión de la calidad del aire propuestos para las áreas portuarias de Colombia se apoyó en el Protocolo de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT (2008), el cual define cinco categorías: presión, estado, respuesta, exposición y salud. El presente trabajo, sin embargo, sólo plantea propuestas en relación con las primeras cuatro categorías, dejando un poco de lado los indicadores de **salud**, pues el MAVDT consideró, en su momento, que estos eran temas de directa competencia del Ministerio de Protección Social de Colombia. Por supuesto, dado que la salud no puede quedar completamente al margen del sistema de monitoreo ambiental, en coordinación con el grupo encargado del componente social de esta propuesta, se diseñó un indicador de salud para las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de la zona portuaria; y se reitera que los operadores portuarios están en obligación de informar, periódica y oportunamente, acerca de las condiciones ambientales que pueden afectar las condiciones de salud de las poblaciones vecinas a las instalaciones de un puerto determinado.

El desarrollo de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire en las Áreas Portuarias (SVCAAP) supone el mejoramiento de una red pública de estaciones meteorológicas, de ruido y de la calidad del aire en las áreas portuarias urbanas. Además, es necesario avanzar en la comprensión de los procesos de interacción tierra- océano- atmósfera con el fin de identificar las relaciones que se establecen entre estos y las actividades de una zona portuaria en particular. Esta propuesta plantea un horizonte de trabajo de 10 años, en tres etapas, cuyos logros y alcances



dependen de las condiciones de cada puerto, los recursos disponibles y las obligaciones de las Autoridades Ambientales.

## AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos se formularon para todos los artículos que se publican sobre este tema central, en el primer artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Correa, M., Saldarriaga, J.C., Molina, F., 2009. Material particulado, normativa y realidad en el Área metropolitana del Valle de Aburrá. II Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Salud Pública y Calidad del Aire. Cartagena.
- Health Canada, 2005. Health effects of air pollution. Research and regulation. Health and air quality program. Canada.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2005. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. Bogotá, 20 septiembre.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2005. Norma calidad del aire. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2006. Resolución 0292. Bogotá, 26 de septiembre.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2006. Resolución 0292. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2006. Norma de ruido ambiental. Bogotá.
- Jiménez, R., 2009. Campañas de medición: Herramientas esenciales para entender los fenómenos que determinan la calidad del aire y el flujo de gases de efecto invernadero. II Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Salud Pública y Calidad del Aire. Cartagena.
- Luciali, P., Ugolini, P., Pollini, E., 2007. Harbour of Ravenna: The contribution of harbour traffic to air quality. Atmospheric Environment N° 41.
- Marshall, J., 2009. Incorporating environmental justice into air quality management. II Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Salud Pública y Calidad del Aire. Cartagena..
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2006. Resolución 601 del 4 de abril, Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2006. Resolución 627. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2006. Resolución 909. 5 de junio, Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2008. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2008. Manual de evaluación del programa de inventario de emisiones. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2008. Protocolo medición y vigilancia de la calidad del aire. Bogotá.



- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2009. Protocolo seguimiento y monitoreo de la calidad del aire. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2009. Protocolo medición de ruido. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, 1995. Norma técnica colombiana 3704. Gestión ambiental. Determinación de la concentración de partículas suspendidas en el aire.
- Presidencia de la República de Colombia, 1995. Decreto presidencial 948 del 5 de junio. Reglamento de protección y control de la calidad del aire.
- Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2009. Diseño del Programa de Seguimiento Ambiental Permanente del Estado de los Recursos Naturales en varias Áreas Portuarias del país. Convenio interadministrativo 122 – 2008. Informe final entregado al Ministerio de Medio Ambiente, Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales.
- Winer, A.M., 2009. High Spatial Resolution Air Pollutant Monitoring in a Mega- City: Implications for human exposure assessment and environmental justice. II Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Salud Pública y Calidad del Aire. Cartagena.

