

CALIDAD DEL AIRE

INTRODUCCIÓN

Aunque una buena aproximación intuitiva nos dice que “aire de buena calidad” es aquel cuyas condiciones son satisfactorias para la salud y el bienestar, es fácil comprender que una definición estandarizada, exacta, legal, obligatoria, involucra la normatización justificada de algunas condiciones del aire. También es sencillo aceptar, de entrada, que esas reglas resultantes son diferentes si se aplican a ambientes interiores o exteriores, y que consecuentemente también son distintas según el país donde se formulan y emplean. Para presentar el tema de forma coherente hemos organizado secuencialmente los subcapítulos Glosario, Composición del aire, Calidad interior y exterior, Contaminantes, Calidad de aire en Colombia, y Formas de mejoramiento. Se intercala el tema Instrumentación y se añaden dos casos especiales (Síndrome de edificio enfermo y salas limpias), y se finaliza con las Referencias.

GLOSARIO, ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS

Aerosol: Suspensión de partículas diminutas de sólidos o líquidos en el aire u otro gas = Particulate air pollution. (Para detalles, ver PM en subcapítulo Contaminantes) (Ver Figura 4.1).

ANSI: La American National Standards Institute es una institución privada sin ánimo de lucro; su misión es mejorar la competitividad y la calidad de vida en USA, promocionando y facilitando consensos sobre estándares y sistemas evaluativos de conformidades. Supervisa y vigila la creación, la promulgación y el uso de miles de normas y guías en todos los campos técnico-comerciales. También es responsable en acreditación de organizaciones respecto a conformidad con estándares (<https://www.ansi.org>).

Biomasa: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Calentamiento Directo: Efecto de la transferencia de calor por flama, gases de combustión, o por ambos, al entrar en contacto directo con los materiales del proceso.

Calentamiento Indirecto: Cuando el calor originado en los gases de combustión pasa primero a una sustancia intermediaria y luego al objeto final.

CFR: Code of Federal Regulations.

CO: monóxido de carbono. [Ver en subcapítulo Contaminantes]

Combustión Interna: Es aquella en la que el calor se libera en el interior del equipo debido a la combustión de los carburantes que se emplean, como en los motores de explosión.

Combustión Externa: Es el proceso en el cual el combustible es utilizado para formar vapor y en el cual posteriormente el vapor se emplea para realizar trabajo o calentamiento.

Equipo de Combustión Externa: Equipo en el cual el proceso de combustión ocurre por fuera del mismo. En estos equipos la sustancia que sirve como vehículo para el transporte de la energía es distinta de los productos de la combustión y recibe el calor después de que este atraviesa paredes de retención, como en el caso de una caldera o un horno.

Combustibles Gaseosos: Se denomina combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales, a los elaborados exclusivamente para su empleo como combustibles, y a aquellos que se obtienen como subproducto en ciertos procesos industriales y que se pueden aprovechar para la combustión. Por ejemplo, gas natural, metano, etano, propano, butano, gas de refinería, gas de alto horno, biogás o mezclas de estos. [Ver Inflamable, en subcapítulo Contaminantes].

Combustibles Líquidos: Se consideran combustibles líquidos el Diesel, el Fuel Oil No. 2 o ACPM, el Fuel Oil N° 6, crudo o bunker. [ver inflamable, en subcapítulo Contaminantes].

Combustibles Sólidos: Se consideran combustibles sólidos el carbón mineral, el coque, el carbón vegetal, la antracita, las hullas, los lignitos, la leña, las turbas, la madera, la biomasa, las fibras vegetales, el asfalto y la brea.

Compuestos Orgánicos Volátiles: Cualquier compuesto orgánico (que contiene carbono) que se evapora con facilidad hacia la atmósfera a temperatura ambiente (IDEAM, 2012) [58].

Concentración de una Sustancia en el Aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida. Las unidades de medida para los estándares son partes por millón (ppm) en volumen, partes por billón (ppb) en volumen, y microgramos por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Condiciones de Referencia: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, respectivamente 25 °C y 760 mm de mercurio.

Contaminantes: Son fenómenos físicos, o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y/o la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas. (Ver Figura 4.1 y subcapítulo Contaminantes).

Criterios air pollutants o contaminantes criterio: La EPA ha establecido el “National Ambient Air Quality Standards” para seis contaminantes principales, los cuales han sido denominados “criterios air pollutants” (CO, Pb, NO₂, O₃, PM y SO₂).

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Dióxido de Azufre: ver SO₂, en subcapítulo Contaminantes.

Dioxinas y Furanos: Ver Dioxinas y Furanos en subcapítulo Contaminantes.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency).

EPE: Estación de Propósito Especial.

Formaldehído: H₂CO (Ver Formaldehído en subcapítulo Contaminantes).

Fuentes fijas: fuentes de emisión situadas en un lugar determinado e inmovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Fuente fija puntual: Aquella que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas debido a la magnitud de sus emisiones o a la complejidad de los procesos que desarrollan; p.e., refinerías, termoeléctricas, industrias de magnitud.

Fuentes fijas dispersas o difusas: Aquellas cuyos focos de emisión se dispersan en un área por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión; p.e., trituradoras, depósitos de materiales de construcción, minas, canteras, plantas de tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios, quemas agrícolas controladas.

Fuentes naturales: Emisiones provenientes de fuentes naturales como la re-suspensión del polvo, las biogénicas y los volcanes en actividad.

HCT (Hidrocarburos Totales): Todos los compuestos carbonados generados en las emisiones de hidrocarburos, excepto los carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), ácido carbónico y aldehídos.

Hg: Mercurio.

H₂CO: Ver Formaldehído, en subcapítulo Contaminantes.

H₂S: Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico.

IE: Inventario de Emisiones.

ICA: Índice de Calidad del Aire diaria. Permite comparar los niveles de contaminación. Corresponde a una escala numérica adimensional entre 0 y 500 (a la cual se le asigna un color), según su relación con los efectos sobre la la salud. Fue adoptado del documento Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality—the Air Quality Index (AQI), EPA-454/B-09-001 feb/09. Está enfocado en cinco contaminantes principales: O₃, MP, SO₂, NO₂, y CO (Ver la Tabla 3.4 del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad de Aire SVCA, Resolución 2153 de 2010).

IDLH: Inmediatly Dangerous to Life or Health concentration (Ver IPVS).

Inflamable: Ver Inflamable, en subcapítulo Contaminantes.

Inmisión: Cantidad de contaminantes en el aire absorbido por un receptor. Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”. Acción opuesta a la emisión. Aire inmisible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

IPVS = IDLH [59]: Concentración “inmediatamente peligrosa para la vida o la salud”. El límite IPVS representa la concentración máxima expresada en ppm o en mg/m³ a la cual, en caso de fallo o inexistencia de equipo respiratorio, se podría escapar en un plazo de 30 minutos sin experimentar síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud. En España la Directriz Básica para la elaboración y homologación de los Planes Especiales del Sector Químico (Resolución de 30.1.91 M.I. BOE 6.2.91) establece el IPVS como valor umbral de toxicidad para aproximadamente

400 sustancias (Bibliografía: NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, June, 1990).

LEL= Lower explosive limit = lower flammable limit (LFL) = Límite Inferior de Explosividad (Ver Inflamable en subcapítulo Contaminantes).

LFL= lower flammable limit (LFL) = Lower explosive limit (LEL) = Límite Inferior de Explosividad (Ver Inflamable en subcapítulo Contaminantes).

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Método Alternativo: Es el procedimiento de medición y análisis señalado en los normativos, que produce resultados similares a los del “Método de Referencia” en la determinación de la concentración de una sustancia contaminante; luego, puede reemplazar al “Método de Referencia”.

Método de Referencia: Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, reconocido en las normativas, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante; se realiza bajo estrictos parámetros técnicos.

NAAQS: National Ambient Air Quality Standards. El “Clean Air Act” requirió de EPA establecer el National Ambient Air Quality Standards (40 CFR Code of Federal Regulations part 50). En esa tarea los estándares quedaron clasificados en dos tipos: Primary standards, que proveen protección a la salud pública (incluyendo poblaciones “sensibles” como asmáticos, niños, y ancianos; y Secondary standards, que proveen protección al bienestar público (incluye protección contra la visibilidad decreciente y daño a animales, cultivos, vegetación y edificios).

NAFA: National Air Filtration Association.

NH₄⁺¹ (Ion amonio): También puede ser escrito sin el superíndice (valor carga eléctrica).

NILU: Norwegian institute for air research.

NO: Monóxido de nitrógeno.

Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire. En Colombia es establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

NO₂: Dióxido de Nitrógeno [ver en subcapítulo Contaminantes]

O₃: Ozono [ver en subcapítulo Contaminantes]

OSHA: Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/>

Particulate air pollution: Mezcla, suspendida en el aire, de partículas sólidas y líquidas (definición de US EPA). (Ver Figura 4.1).

Pb: Plomo [ver en subcapítulo Contaminantes].

PCB's: Bifenilos policlorinados.

PGCA: Plan de Gestión de la Calidad del Aire.

PM# = particulate matter = urban particulate matter = material particulado [ver TSP, PM10, PM2.5 en subcapítulo Contaminantes].

PM10 (Material Particulado Menor a 10 Micras) [ver TSP, PM10, PM2.5 en subcapítulo Contaminantes].

PM2.5 (Material Particulado Menor a 2,5 Micras) [ver TSP, PM10, PM2.5 en subcapítulo Contaminantes].

ppm: Partes por millón.

PST: Partículas Suspendidas Totales=TSP [ver TSP en subcapítulo Contaminantes].

Radón: [ver Radón en subcapítulo Contaminantes].

SVCA: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire.

SEVCA: Sistema especial de vigilancia de la calidad del aire: cualquier población con problemáticas específicas de calidad del aire (minería, alto nivel de industrialización, etc.).

SIG: Sistema de información geográfico.

SVCAI: Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire Industrial; aplicado a actividades a las que la autoridad ambiental establezca la obligación de implementar un SVCA. Podrá contar con estaciones indicativas o fijas.

SISAIRE: Sub-Sistema de Información sobre Calidad del Aire.

SO₂: Dióxido de azufre [ver en subcapítulo Contaminantes].

SO_x: Óxidos de azufre.

TSP: Total Suspended Particles= PST: Partículas Suspendidas Totales [ver en subcapítulo Contaminantes].

VOC: Compuestos orgánicos volátiles.

µm: micrómetro, micra, millonésima parte del metro.

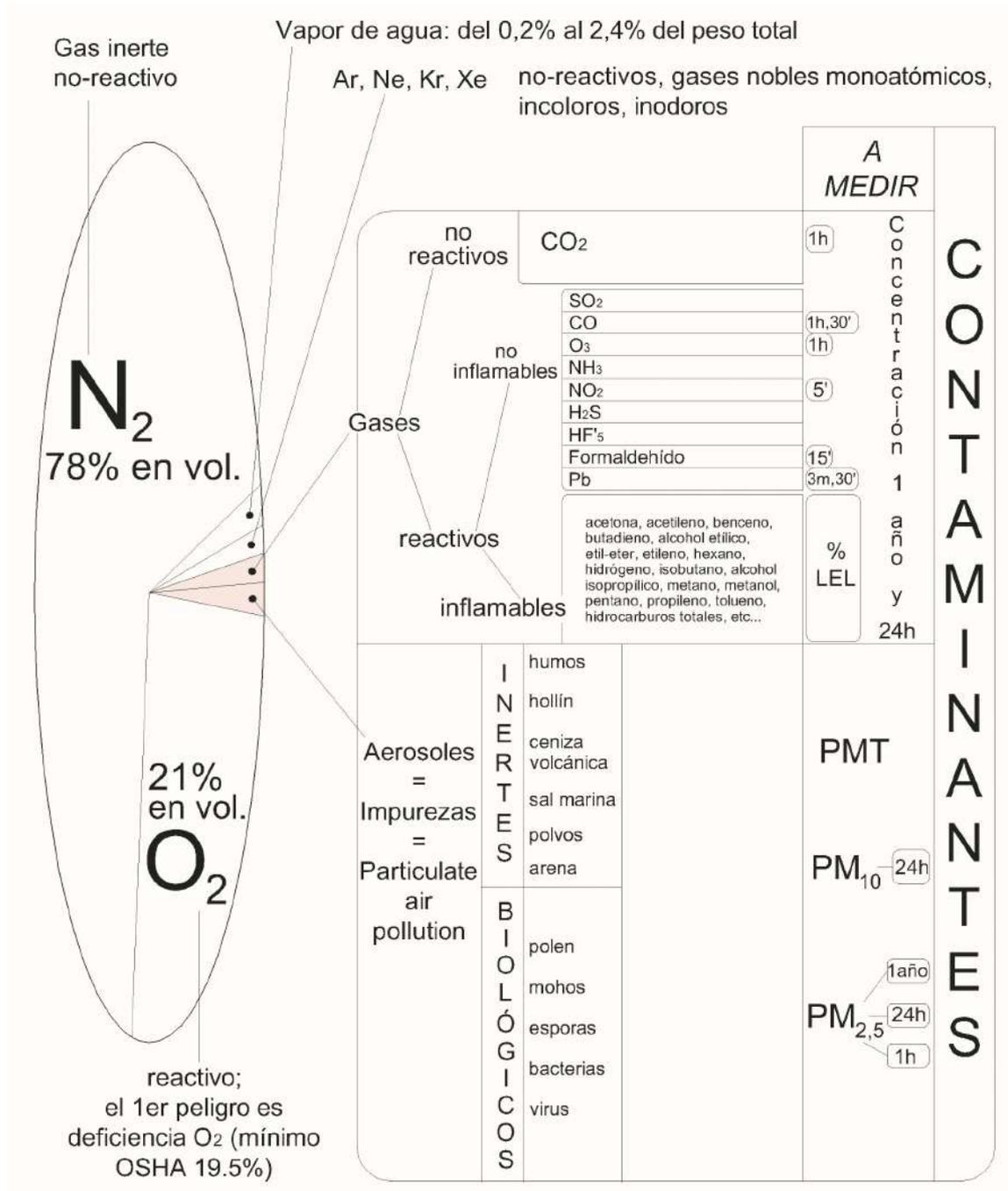


Figura 4.1. Composición del aire. Material gaseoso y partículas sólidas..

CALIDAD DE AIRE INTERIOR Y EXTERIOR

De la mostrada composición del aire —y de acuerdo con NAFA— surge una preocupación centrada en que los gases y el material particulado pueden perjudicar nuestra salud y bienestar, así como afectar los productos que se manufacturan. Es válido entonces asegurarse de que, tanto en espacios cerrados como abiertos, el aire cumpla unos estándares mínimos que garanticen calidad. Tales estándares, producto del método científico, han sido originados, desarrollados y promulgados por los sistemas y las organizaciones responsables y capacitadas para tal fin.

Calidad del aire exterior (*outdoor air quality*)

La composición porcentual de la atmósfera experimenta continuos cambios; estas variaciones dependen de la posición geográfica (longitud, latitud, altura), la topografía y la geología del entorno, el clima (y la estación en zonas templadas), la hora, los vientos. Pero también es un factor importante la proximidad a fuentes de contaminantes, la cuales pueden ser naturales o antropogénicas. La Tabla 4.1 muestra el aporte de contaminantes de las distintas fuentes.

Tabla 4.1. Fuentes de contaminantes gaseosos del aire [60].

Gas	Fuentes		Cantidad (x10 ⁶ Ton Por Año)	
	Antropogénicas	Naturales	Contaminación	Natural
SO ₂	Combustión de carbón y petróleo, cocido de materiales sulfurados	Volcanes	146	6-12
H ₂ S	Procesos químicos, tratamiento de aguas negras	Volcanes, acción biológica en pantanos	3	30-100
CO	Combustión, principalmente escapes de automóviles	Reacciones de terpenos en incendios forestales	300	>3000
NO _x	Combustión	Acción bacteriana en suelos	50*	60-270*
NH ₃	Tratamiento de desechos	Descomposición biológica	4	100-200
N ₂ O	En forma indirecta por uso de fertilizantes nitrogenados	Acción biológica en suelos	>17	100-450
Hidrocarburos	Combustión, escapes, procesos químicos	Procesos biológicos	88	CH ₄ :300-1600; terpenos:200
CO ₂	Combustión	Descomposición biológica, liberación desde océanos	15000	150000

Nota: Énfasis agregado

La calidad de aire exterior, además de ser vital en espacios públicos, es factor clave en las obligatorias renovaciones que demandan los espacios cerrados. Por lo anterior, aunque en general se parte de la presunción de que el aire exterior vecino es sano y puro, es del caso atender las directrices que sobre el asunto existen. El ANSI/ASHRAE 62.1-2016 —referencia [61], la más importante sobre el tema— señala que proceden al respecto dos acciones: la primera es determinar la “calidad de aire regional”; la segunda es estimar la “calidad de aire local”. Para rematar, confeccionar una buena documentación sobre los resultados obtenidos es un complemento deseable; [61] appendix H p. 47 sugiere una plantilla.

Calidad de aire regional. La condición de conformidad con los estándares de calidad de aire ambiental deberá ser establecida para la región geográfica donde se ubiquen el proyecto o el sitio de interés. Esto significa cumplir o no-cumplir con el *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), cuyos valores se pueden consultar en la Tabla 4.2 (para USA esta información regional está disponible por EPA, en el sitio www.epa.gov).

Calidad de aire local. Una inspección del entorno inmediato al sitio de interés debe hacerse para estimar la calidad del aire local; es procedente hacerla en el horario pertinente. Se deben detectar olores irritantes, fábricas vecinas, plumas de aire contaminado, fuentes potenciales de contaminación, etc.

Cuando la secuencia recomendada no pueda seguirse, probablemente por limitaciones en la información local, siempre queda la alternativa de realizar un monitoreo con instrumentación propia, o contratar el servicio. El subcapítulo “Instrumentación” orienta sobre los equipos necesarios. Es claro, además, que respecto a la calidad de aire exterior sólo es posible tratar de controlar la contaminación antropogénica, tarea que se realiza en las fuentes. La reglamentación nacional y los procesos al respecto se muestran con detalle en el subcapítulo “Calidad de Aire en Colombia”.

Calidad de aire interior (indoor air quality, IAQ)

Según SMACNA [62], IAQ puede ser definida como las condiciones del aire que tienen que ver con la salud y el bienestar de los ocupantes de un espacio interior. Por su parte, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA) [63] concibe los “espacios confinados” como aquellos suficientemente grandes, construidos para que unos empleados puedan permanecer mientras realizan una tarea asignada, tienen accesos restringidos y requieren un permiso. Es posible que estos espacios contengan una atmósfera peligrosa, esto es, ambiente que puede exponer los empleados a malestares, incapacitaciones, lesiones, y riesgo de muerte.

Tabla 4.2. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS); traducido de la ref [61]. Niveles admisibles de IAQ.

Contaminante	Estándares Primarios	Tiempos para promedios	Estándares secundarios
Monóxido de carbono	9 ppm (10 mg/ m3)	8-horas ^(a)	ninguno
	35 ppm (40 mg/m3)	1- hora ^(a)	ninguno
Plomo	0.15 µg/ m3	Promedio trimestral	igual al primario
Dióxido de Nitrógeno	100 ppb	1 - hora ^(b)	-
	0.053 ppm (100 µg/ m3)	Anual (media aritmética)	igual al primario
Material particulado (PM ₁₀)	150 µg/ m3	24- horas ^(c)	igual al primario
Material particulado (PM _{2.5})	12 µg/ m3	Anual ^(d) (media aritmética)	15 µg/ m3
	35 µg/ m3	24- horas ^(b)	igual al primario
Ozono	0.075 ppm	8- horas ^(e)	igual al primario
Dióxido de azufre	75 ppb	1 - hora ^(f)	
	-	3 - horas ^(l)	0.5 ppm

(a) no exceder más de una vez por año (b) el promedio tri-anual del percentil 98° de concentraciones (c) no exceder más de una vez por año cada tres años (d) promedio en tres años (e) promedio tri-anual de los 4 valores diarios más altos de los promedios 8-horas de concentraciones de ozono (f) percentil 99° de concentraciones diarias máximas de 1-hora, promediadas en tres años

Esta tabla tiene origen en *National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards, Code of Federal Regulations, Title 40 Part 50 (40 CFR 50)*, modificada en Julio 30/04 y octubre 17/06. U.S. environmental protection agency. www.epa.gov/air/criteria.html

Una publicación muy específica sobre el tema, como la “Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction, and Commissioning” [64], emitida en conjunto por todas las agencias importantes en el área, afirma que “una buena calidad ambiental en espacios ocupados se alcanza proveyendo aire en el cual no haya contaminantes en concentraciones que puedan ser perjudiciales, ni tampoco condiciones asociables a reclamos por salud o confort; aire con el cual los ocupantes prácticamente no puedan expresar insatisfacción. Esto incluye dos consideraciones simultáneas: niveles de contaminantes y parámetros térmico-ambientales”. Añade que, primero, alta IAQ conlleva más productividad y habitantes más contentos, mejor retorno económico en negocios y altos rendimientos en procesos de enseñanza-aprendizaje, y que, segundo, los problemas IAQ que se salen de las manos significan altísimos costos en tiempo de trabajo perdido, uso parcial de instalaciones, reparaciones, problemas legales y publicidad negativa. El enfoque aquí dado, totalmente congruente con [61], aborda la

solución a problemas IAQ. El subcapítulo “Mejoramiento de IAQ” analiza el tópico.

En general, el primer peligro asociado con los espacios confinados es el de la **deficiencia de oxígeno**. El aire normal contiene 20.8 por ciento de oxígeno por unidad de volumen. El valor mínimo indicado por OSHA es de 19.5 por ciento; OSHA define el nivel máximo de seguridad en 23.5 por ciento. A un nivel de 16 por ciento las personas empiezan a desorientarse y entre 8 y 12% en general pierden el conocimiento. El oxígeno disminuye en un espacio confinado ya sea por desplazamiento o por consumo. El oxígeno es desplazado por la entrada de otras sustancias; el consumo puede ser el resultado de reacciones químicas como oxidación, descomposición, fermentación o incendio de sustancias inflamables.

El siguiente riesgo en línea es la concentración de sustancias dañinas en dosis por encima de su límite permisible de exposición. La OSHA ha establecido normativas en tal sentido y las ha hecho públicas en sus impresos “Occupational Health and Environmental Control” - Subpart G, y “Toxic and Hazardous Substances” - Subpart Z. Añade OSHA que para contaminantes sobre los cuales ella no haya determinado dosis o límites de exposición permisibles se pueden consultar otras fuentes de información, como la publicada en “Material Safety Data Sheets”, que cumple con el “Hazard Communication Standard, section 1910.1200 of this Part”, o documentación interna que puede orientar para establecer condiciones atmosféricas plausibles.

En el mismo sentido —establecer normativas sobre Calidad de Aire Interior Aceptable— se han dado pronunciamientos de prácticamente todas las asociaciones sobre el tema, algunas obligatorias y otras como guía o recomendación [65], [66], [67], [64], [68], [69]. Es claro que “obligatoriedad” es una condición relativa al régimen legal operante en el lugar de interés; por ejemplo, en nuestro caso, el colombiano, opera el marco impuesto por las resoluciones del Ministerio del Medio Ambiente, marco que se expone en detalle en el subcapítulo correspondiente. Pero también es claro que, producto del nivel de desarrollo de ciertos entornos, algunas agremiaciones son líderes evidentes y sus planteamientos son guía obligada. Para comparar las principales normativas (que también podemos contrastar con las nuestras), el estándar ANSI/ASHRAE 62.1-201, anteriormente ponderado, elaboró la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Comparación de Normativas
y Guías Pertinentes a Ambientes Interiores [61].**

	Exigibles y/o niveles reglamentarios			Guías no-obligatorias y niveles de referencia			
	NAAQS/EPA (Ref.C4)	OSHA (Ref. C-5)	MAK (Ref. C-2)	Canadian (Ref.C8)	WHO/Europe (Ref.C11)	NIOSH (Ref.C13)	ACGIH (Ref.C1)
CO ₂		5000 ppm	5000 ppm	3500 ppm [L]		5000 ppm	5000 ppm
			10000ppm [1h]			30,000ppm [15min]	30,000ppm [15min]
CO		50 ppm			90 ppm[15 min]		25 ppm
	9 ppm ^s		30 ppm	11 ppm [8 h]	50 ppm[30 min]	35 ppm	
	35 ppm [1 h] ^s		60 ppm [30min]	25 ppm [1 h]	25 ppm [1 h]	200 ppm [C]	
					10 ppm [8 h]		
Formal- dehído		0.75 ppm	0.3 ppm	0.1 ppm [L]	0.1 mg/m ³ (0.081 ppm) [30 min] ^p	0.016 ppm	0.3 ppm [C]
		2ppm [15min]	1 ppm ⁱ	0.05 ppm [L] ^b		0.1 ppm [15 min]	
Pb	1.5 µg/m ³ [3months]	0.05 mg/m ³	0.1 mg/m ³ 1 mg/m ³ [30 min]	Minimi- zar expo- sición	0.5 µg/m ³ [1 yr]	0.050 mg/ m ³	0.05 mg/m ³
N ₂ O	0.05 ppm [1 yr]	5 ppm [C]	5 ppm	0.05 ppm	0.1 ppm[1 h]	1 ppm [15 min]	3 ppm
			10 ppm [5 min]	0.25 ppm [1 h]	0.02 ppm [1 yr]		5 ppm [15 min]
O ₃	0.12 ppm [1 h] ^s	0.1 ppm	j	0.12 ppm [1 h]	0.064 ppm	0.1 ppm [C]	0.05 ppm ^k
	0.08 ppm				(120 µg/m ³) [8 h]		0.08 ppm ^l
							0.1 ppm ^m
	0.2 ppm ⁿ						
PM _{2.5}	15 µg/m ³ [1 yr] ^o	5 mg/m ³	1.5 mg/m ³ for <4 µm	0.1 mg/ m ³ [1 h]			3 mg/m ³ [C]
	35 µg/m ³ [24 h] ^o			0.040 mg/ m ³ [L]			
PM ₁₀	150 µg/m ³ [24 h] ^o		4 mg/m ³				10 mg/m ³ [C]
Radón				800 Bq/ m ³ [1 yr]			
SO ₂	0.03 ppm [1 yr]		0.5 ppm	0.38 ppm [5 min]		2 ppm	2 ppm
	0.14 ppm [24 h] ^s	5 ppm	1 ppm i	0.019 ppm	0.048 ppm [24 h]	5 ppm [15 min]	5 ppm [15 min]
					0.012 ppm [1yr]		
TP		15 mg/m ³					

Números entre paréntesis cuadrados [] se refieren tanto a límites superiores como a tiempos de exposición promedios menores y que o mayores que

8h (min = minuto; h = hora; yr = año; C = límite superior, L = largo plazo). Donde no se especifica, el tiempo a promediar es 8h. b) nivel meta es 0.05 ppm por sus potenciales efectos carcinogénicos. Total de aldehídos limitado a 1 ppm. c) Como un ejemplo sobre el uso de valores de esta tabla, los lectores deberían considerar la aplicabilidad de las concentraciones de monóxido de carbono. Las concentraciones consideradas aceptables en ambientes no-industriales son mucho más bajas. Estos valores exigidos se establecen para proteger poblaciones sensibles. d) MMAD = mass median aerodynamic diameter, en micras. Menos que 3.0 μm se considera respirable; menos que 10 μm se considera inhalable. e) PNOC = Partículas molestas no clasificadas de otra manera, sin esperarse que contengan significativas cantidades de asbestos, plomo, sílica cristalina, carcinógenos conocidos, u otras partículas peligrosas. f) (Ver la Tabla B-2 para la directriz U.S. EPA). g) No debe ser excedido más de una vez por año. h) El U.S. Department of Housing and Urban Development adoptó normativas respecto a emisiones de formaldehidos del contrachapado (triplay) y aglomerados, intentando limitar las concentraciones de formaldehido en casas a 0.4 ppm. i) No excederlo nunca. j) Carcinógeno, sin valores máximos establecidos. k) TLV[®] para trabajo pesado. l) TLV[®] para trabajo moderado. m) TLV[®] para trabajo liviano. n) TLV[®] para volúmenes de trabajo pesado, moderado, o liviano (menor o igual a dos horas). o) 62FR38652 - 38760, Julio 16, 1997. p) Estudios epidemiológicos sugieren una relación causal entre exposición a formaldehído y cánceres nasofaríngeo y sino-nasal, pero estas conclusiones están soportadas en un número de casos relativamente bajo.

CONTAMINANTES

Como se mostró en la Figura 4.1, los contaminantes son sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, componentes indeseables del aire. Son causantes de efectos adversos en la salud humana, los recursos naturales y/o los procesos productivos. Han sido emitidos al aire como resultado de actividades humanas, por causas naturales, o una combinación de estas (Ver Tabla 4.1, Fuentes de contaminantes gaseosos del aire). Los siguientes textos, organizados en forma alfabética, exponen con buena aproximación la naturaleza de los principales contaminantes, sus características y efectos.

CO (Monóxido de carbono) [58], [70], [71], [72], [73]: Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles. Se encuentra en el humo expulsado por automóviles y camiones,

candelabros, estufas, fogones de gas y sistemas de calefacción. Como se ve en la Tabla 4.4, es altamente tóxico. Si se respira, aunque sea en moderadas cantidades, puede causar la muerte por envenenamiento al sustituir el oxígeno en la hemoglobina de la sangre. Sus valores LEL/UEL: 12.5% - 74.0%

CO₂ (Dióxido de carbono, Bióxido de carbono, Óxido de carbono, Anhídrido carbónico, Gas carbónico). Gas incoloro, inodoro, vital para la vida en la Tierra [74]. Produce un efecto invernadero (retención de calor) que ocasionó que las temperaturas del planeta fuesen aptas para la vida. Sin ese efecto el planeta sería una bola de nieve. Treinta mil (30000) millones de toneladas de CO₂ arrojamamos cada año los humanos a la atmósfera. La emisión de los volcanes no es ni el 2% de esas 30000 millones de toneladas. Charles David Keeling (1928-2005) fue el descubridor del cambio climático. Las precisas mediciones que realizó desde 1957 muestran que el CO₂ acumulado en nuestra atmósfera es cada vez mayor. Tan solo se produjo un pequeño lapso en estas investigaciones (abril 1964). Sus fuentes de financiación gubernamentales le dijeron que, efectivamente, “has mostrado que el dióxido de carbono atmosférico está aumentando; ahora busca otra investigación interesante que hacer”. Con el apoyo de muchos otros científicos, en mayo de 1964 estaba otra vez recogiendo datos. A finales de los años 50, las primeras mediciones de Keeling señalaban concentraciones de 315 partes por millón. Hoy la cifra supera las 375 partes por millón (2005), cantidad que no se ha visto desde hace 3000 millones de años. Hemos cargado la atmósfera con 400000 millones de toneladas de dióxido de carbono. Los científicos climáticos han obtenido muestras de la Antártida y Groenlandia donde hay aires de épocas anteriores. Las consecuencias inmediatas son un aumento del efecto invernadero y de la temperatura global.

*Tabla 4.4. efectos del monóxido de carbono según concentración.
Resumido de [71], [72], [73].*

Concentración en aire	Efecto del CO
55 mg/m ³ (50 ppm)	TLV-TWA: concentración correspondiente a un día (8h) o una semana (40h) en que se puede estar expuesto sin efectos adversos
0,01 %	Exposición de varias horas sin efecto
0,04-0,05 %	Exposición una hora sin efectos
0,06-0,07 %	Efectos apreciables a la hora
0,12-0,15 %	Efectos peligrosos a la hora
165 mg/m ³ (1500 ppm)	IPVS
0,4 %	Mortal a la hora

Dióxido de azufre: ver SO_2

Dioxinas y furanos [58]: Son compuestos de origen antropogénico, productos de la combustión o subproductos no deseados en diferentes reacciones químicas de procesos industriales. Veintiuno (21) de sus congéneres son clasificados como altamente tóxicos en cantidades pequeñas. Los policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs) y los policlorodibenzofuranos (PCDFs) son dos familias de hidrocarburos aromáticos halogenados tricíclicos que engloban un total de 210 compuestos, 75 PCDDs y 135 PCDFs, constituidos por dos anillos bencénicos unidos entre sí que poseen entre uno y hasta ocho átomos de cloro como sustitutos de sus enlaces. Estos compuestos son comúnmente conocidos como dioxinas y furanos. Las PCDDs se encuentran unidas por dos átomos de oxígeno, y en el caso de los PCDFs por un átomo de oxígeno y un enlace carbono-carbono, y sus átomos de hidrógeno pueden ser sustituidos hasta por ocho átomos de cloro.

Factor de Equivalencia Tóxica: es el factor que indica el grado de toxicidad de cada uno de los compuestos incluidos en los grupos de Dioxinas y Furanos, comparado con el de la 2,3,7,8 TCDD, al que se le otorga un valor de referencia de 1 por ser la dioxina más tóxica.

Formaldehído (H_2CO): El formaldehído, o metanal, es un compuesto químico, específicamente el más simple de los aldehídos, altamente volátil y muy inflamable. En condiciones normales de presión y temperatura es un gas incoloro, de un olor penetrante, muy soluble en agua y en ésteres. Las disoluciones acuosas al ~40% se conocen con el nombre de formol, que es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante.

HCT (Hidrocarburos Totales): Todos los compuestos carbonados generados en las emisiones de hidrocarburos excepto los carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO_2), ácido carbónico y aldehídos.

H_2CO : ver formaldehído.

H_2S : Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico.

Inflamable [71], [75], [76]: Inflamable es, en general, la sustancia que se enciende con facilidad. Es entendido que la combustión necesita, además del combustible, la presencia de oxígeno y una fuente de ignición (chispa,

arco eléctrico, llama, calor, etc.). Para que se produzca fuego o explosión, cuando se trata de un gas o un vapor combustible, es necesario que su concentración respecto al aire no sea muy alta ni muy baja, es decir que esté dentro de un rango. Los valores límites de tal intervalo se conocen con los nombres de Lower explosive limit (LEL) y Upper explosive limit (UEL); en español, Límite Inferior de Explosividad (o Inflamabilidad) y Límite Superior de Explosividad (o Inflamabilidad), respectivamente. **LEL**= Lower explosive limit = lower flammable limit (LFL) = Límite Inferior de Explosividad: la menor concentración (porcentaje) de un gas (o vapor) en aire, capaz de producir un fogonazo, una llamarada, o una explosión en presencia de una fuente de ignición (chispa, arco eléctrico, llama, calor, etc). El instrumento para medir las concentraciones de este tipo de gas y relacionarlas con estas condiciones de riesgo se llama Explosímetro; el dato que arroja señala la concentración relativa al LEL, siendo el LEL el 100%. UEL = Upper explosive limit = Límite Superior de Explosividad: la más alta concentración (porcentaje) de un gas (o vapor) capaz de producir explosión o combustión en presencia de una fuente de ignición. La Tabla 4.5 muestra LEL/UEL para combustibles corrientes.

Tabla 4.5. Valores LEL/UEL para combustibles corrientes [71], [75], [76].

Sustancia	LEL/LFL en % Por volumen de aire	UEL/UFL en % Por volumen de aire
Acetona	2.6–3	12.8–13
Acetileno	2.5	100
Benceno	1.2	7.8
Butadieno	2.0	12
Butano	1.6	8.4
Alcohol butílico, butanol	1	11
Monóxido de Carbono	12 ^[142]	75
Combustible Diesel	0.6	7.5
Etano	3 ^[142]	12–12.4
Etanol	3–3.3	19
Gasolina	1.4	7.6
Hexano	1.1	7.5
Hidrógeno	4/18.3 ^[143]	75/59
Isobutano	1.8 ^[5]	9.6
Alcohol Isopropílico, isopropanol	2 ^[5]	12
Metano (gas natural)	5.0	15
Alcohol metílico, metanol	6–6.7 ^[142]	36
Pentano	1.5	7.8
Propano	2.1	9.5–10.1
Propileno	2.0	11.1
Tolueno	1.2–1.27	6.75–7.1

LEL: Lower explosive limit (ver inflamable).

NO₂ (Dióxido de nitrógeno) [58]: Gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, irritante. Se origina en la combustión a altas temperaturas; sus fuentes más importantes son el tubo de escape de los vehículos (diésel la mayor parte (NILU, 2015) y las plantas de generación eléctrica. Es la causa principal de la formación de ozono troposférico y de aerosoles de nitrato (responsables de la lluvia ácida), y contribuye en forma importante a la concentración ambiente de PM_{2,5} [77] [78]. Afecta principalmente al sistema respiratorio (asma, bronquitis, función pulmonar y mortalidad). El límite anual europeo es 40 microgramos/m³ y en Estados Unidos 100 microgramos/m³.

O₃ (Ozono) [58]: Gas de olor a tierra mojada y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones ligeramente azulado, que se encuentra en la estratosfera, donde protege contra la dañina radiación ultravioleta, y cerca del nivel del suelo en la troposfera, donde afecta la vegetación, la infraestructura y la salud (NILU, 2015). Desinfectante, depurador y purificador de aguas minerales, compuesto extremadamente reactivo, potente oxidante, bastante soluble, por lo que su acción irritante se manifiesta en las vías respiratorias. El límite recomendado de exposición de ozono es de ocho horas a 0,1 ppm, y a corto plazo de 0,03 ppm; para una concentración de 50-30 ppm pocos minutos de exposición pueden ser fatales; seres humanos (soldadores) expuestos a 9 ppm desarrollaron edemas pulmonares. Es un gas que no se emite directamente por fuentes primarias. Se produce a partir de las reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar y precursores tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (USEPA, 2015); se consume al reaccionar con NO₂ o ser depositado en el suelo (WHO, 2006) [77]. Las medidas encaminadas a controlar sus niveles se enfocan en las emisiones de sus precursores (WHO, 2006) [77].

Pb (Plomo) [79], [80], [81], [82], [83]: Metal pesado, con excelente resistencia a la corrosión, que rara vez se encuentra en su estado elemental. Es uno de los cuatro metales que tienen mayor efecto dañino sobre la salud humana, ya que se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. No existe un nivel de exposición al plomo que pueda considerarse seguro.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas, un ciclo no natural tiene lugar: la combustión genera compuestos (cloruros, bromuros, óxidos) que entran en el ambiente; las partículas grandes se precipitan a los suelos y/o

a las aguas, mientras que las pequeñas permanecen en la atmósfera, hasta caer cuando llueve. Entran en el cuerpo humano a través de la comida (65%), el agua (20%) y el aire (15%), pero el mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo.

Actualmente la mayor contaminación por plomo se produce por la atmósfera, pero su contenido está disminuyendo gracias a la prohibición de utilizar gasolina con plomo (hoy por hoy, su utilización solo sigue estando permitida en motores para la aviación y en tres países).

El tetraetilo de plomo se desarrolló en 1921 por Thomas Midgley Jr, quien trabajaba para la General Motors, como un aditivo que mejoraba notablemente el rendimiento de los motores a combustión interna (Midgley también desarrolló los clorofluorocarbonos, CFC). Durante décadas fue empleado en la gasolina a nivel mundial; pero en los años 70 el incremento en el consumo de gasolina con tetraetilo de plomo en las grandes ciudades fue detonante de serios problemas ambientales. Las emisiones de plomo y de otros metales pesados resultantes de la combustión interna de los motores alcanzaron altos niveles de concentración, nocivos para el ambiente y la salud de los seres vivos. Se reportaron numerosos problemas respiratorios, cáncer pulmonar, e incluso la muerte.

Jamie Lincoln Kitman, en *The Secret History of Lead*, relata que “General Motors, Du Pont y Standard Oil (actual Exxon) pusieron plomo —un conocido veneno— en la gasolina, sólo por beneficio económico... desde la virtual desaparición de la gasolina con plomo en USA, el nivel de plomo en la sangre ha declinado en más del 75%. Un estudio EPA de 1985 estimó que, antes de la prohibición, del orden de 5000 estadounidenses murieron anualmente por problemas cardíacos causados por el plomo. De acuerdo a un reporte de Government’s Agency for Toxic Substances and Disease Registry para el Congreso, puede estimarse que la contaminación sanguínea de 2 millones de niños fue disminuida hasta el nivel no-tóxico, entre 1970 y 1987, en la medida de que el uso de gasolina con plomo disminuyó. Proyectando, se calcula conservativamente que 68 millones de niños tuvieron exposición tóxica al plomo entre 1927 y 1987”.

PM_# [77], [58], [84]= particulate matter = urban particulate matter = material particulado [ver TSP, PM₁₀, PM_{2.5}]: PM —seguido por un subíndice numérico— es la masa total de las partículas con diámetro aerodinámico menor o igual al subíndice en micras, masa contenida en el aire ambiente y compuesta siempre por una compleja mezcla de varios tamaños. Las partículas generalmente están categorizadas como se muestra en la Figura 4.2. En la mayoría de los ambientes urbanos se encuentran presentes

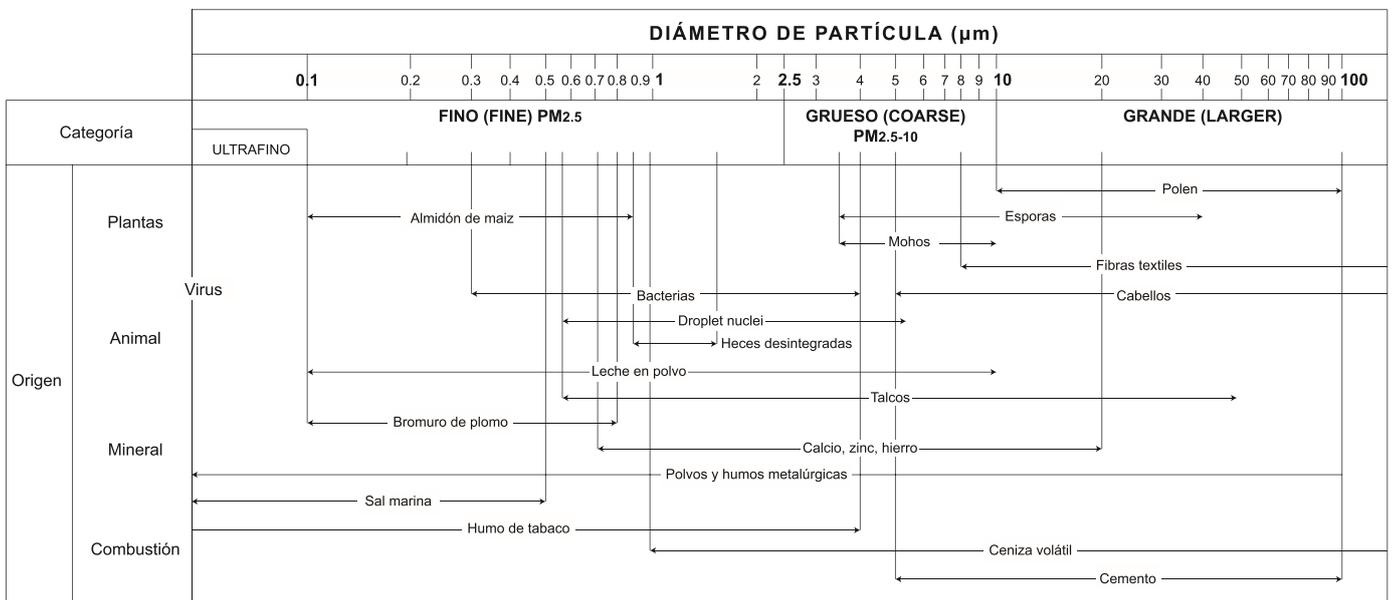


Figura 4.2. Categorías y Tamaños de las Partículas que se Encuentran en el Aire [85], [62].

tanto el material particulado fino como el grueso, pero la proporción relativa de estas dos categorías varía según la geografía local, la meteorología y las características de las fuentes de emisión. Los tamaños de algunas partículas presentes en el aire se muestran en la misma figura.

PM₁₀ (Material Particulado Menor a 10 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales, que corresponde a todas las partículas que tienen un tamaño menor a 10 micras; el PM_{2.5} está contenido dentro del PM₁₀. En este grupo están incluidos el polvo, el polen y las esporas de mohos. Las fuentes más importantes de PM₁₀ involucran procesos mecánicos como el desgaste del asfalto y de los neumáticos y los frenos de los carros, actividades de construcción, incendios forestales y algunas actividades industriales [ver PM_#, TSP, PM_{2.5}].

PM_{2.5} (Material Particulado Menor a 2,5 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales, que corresponde a todas las partículas que tienen un tamaño menor a 2.5 micras. Esto significa que el PM_{2.5} está contenido dentro del PM₁₀. Dentro de estas pequeñas partículas se incluyen partículas de la combustión, compuestos orgánicos y metales. En cuanto a las fuentes de PM_{2.5} se pueden enumerar los incendios forestales, las emisiones de escape de los vehículos y la industria (WHO - Regional Office for Europe, 2006), [ver PM_#, TSP, PM10]. El Journal of the American Medical Association (JAMA), Vol. 287, No. 9: 1132-1141, en la más seria investigación realizada hasta la fecha, liga hollín diminuto con cáncer pulmonar; estas partículas tan diminutas pueden fácilmente alcanzar los alvéolos, los últimos depósitos del aire en los pulmones y, como los mecanismos de limpieza son allí lentos, los depósitos pueden causar daños graves. Las fuentes principales son motores diésel, exostos de carros, chimeneas de humo industrial, la minería y la construcción. Los investigadores calcularon que el número de muertes por cáncer pulmonar aumentó 8% por cada incremento de 10 microgramos/m³ de particulado fino.

PST (Partículas Suspendidas Totales) = TSP [ver TSP].

Radón [86], [87]: Elemento químico perteneciente al grupo de los gases nobles. En su forma gaseosa es incoloro, inodoro e insípido y es el gas más pesado conocido. Producto de la desintegración del radio, es un elemento altamente radiactivo. El peligro de una alta exposición al radón en las

minas, donde se pueden encontrar exposiciones que alcanzan 1.000.000 Bq/m³, es conocido desde hace mucho tiempo, desde cuando se identificó como causa de una enfermedad degenerativa y se señaló la importancia de la ventilación para evitar este “mal de las montañas”. Además, en una investigación efectuada por Herting y Hesse sobre los mineros de Schneeberg (Alemania) su presencia fue identificada como causante de cáncer de pulmón. En los EE.UU., los estudios y la adopción de medidas de protección solo se llevaron a cabo tras décadas de efectos perniciosos sobre la salud, aunque la presencia de radón en el aire interior de los edificios fue documentada ya en 1950. A partir de 1970 se iniciaron investigaciones para hacer frente a las fuentes de radón interiores, los factores determinantes de la concentración, efectos sobre la salud, y medidas de protección. El problema del radón en el interior de las viviendas tuvo una gran repercusión pública después de un incidente ampliamente difundido en 1984, cuando se encontró un trabajador contaminado con radiactividad, siendo una alta contaminación de radón en su domicilio identificada como la causa responsable. Cuando se inhala las partículas radioactivas se adhieren al tejido pulmonar, y emiten radiación alfa a las células broncopulmonares; la absorción de esta radiación provoca ionizaciones y excitaciones de las estructuras celulares, lo que daña directa e indirectamente el DNA y provoca mutaciones en el tejido pulmonar. En EE.UU se considera al radón la segunda causa de muerte por cáncer de pulmón, después del tabaco. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha publicado varias guías sobre el radón como, por ejemplo, la guía del radón para el comprador y el vendedor de viviendas.

SO₂ (Dióxido de Azufre) [88]: Gas incoloro, irritante, tóxico, no inflamable, que posee un fuerte olor. Es el principal causante de la lluvia ácida, ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico. Se forma en numerosos procesos industriales, pero principalmente proviene de la combustión, pues el azufre presente en el combustible se convierte casi en su totalidad a SO₂ (WHO - Regional Office for Europe, 2006). Sus fuentes principales son las plantas de energía, las refinerías de petróleo y otros grandes complejos industriales (NILU, 2015). En relación con la salud, afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos; absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La concentración máxima permitida en los lugares de trabajo es de 2 ppm, y el valor letal es 100 ppm.

SO_x: Oxidos de azufre

TSP (Total Suspended Particles) = PST (Partículas Suspendidas Totales) [88], [89], [90], [84], [91]. Redefinido por la American Conference for Governmental Industrial Hygienists - ACGIH como “total dust” (polvo total), alude a una regulación arcaica mediante la cual se medía la concentración másica total de material particulado en el aire comunitario. Esto incluía tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras que no se sedimentan en períodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad. Numerosos estudios alrededor del mundo han mostrado vínculos entre los niveles de material particulado en el aire ambiente y la morbilidad y mortalidad de la población; la exposición a PM, tanto en tiempos cortos como largos, está relacionada con índices de mortalidad (NILU, 2015). La OMS plantea que las partículas afectan más la salud de la población que cualquier otro contaminante; sus recomendaciones sobre niveles 24h y anual son, en PM₁₀: 20 y 50 ug/m³; y en PM_{2.5}: 10 y 25 ug/m³. Es necesario mencionar que las partículas mayores a 10µm no están usualmente reconocidas en la legislación sobre salud, pues al poder ser filtradas en la nariz y la garganta hacen que se consideren más un fastidio que una amenaza. En 1987 la EPA revisó el National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) para PM, y cambió el índice PM por PM₁₀, condición del PM que penetra en el tórax y causa o exacerba dolencias del tracto respiratorio inferior como bronquitis, asma, neumonía, cáncer y enfisema. Cambiar a un índice más relacionado con la salud estimularía posteriormente estudios que condujeron a mejores estándares en la concentración de finos, como el PM_{2.5} y/o sulfatos, los que mostraron aún mejores relaciones que el PM₁₀. Para 1997, en la siguiente revisión del PM NAAQS la EPA suplementó sus regulaciones sobre PM₁₀ con nuevas reglas en PM_{2.5}. Es de recalcar que los puntos de corte no se deben asumir como perfectamente nítidos, pues limitaciones de los instrumentos de medición permiten que partículas más grandes que el corte sean capturadas, mientras que partículas más pequeñas no se retengan.

INSTRUMENTACIÓN

En la medida en que la instrumentación para distintos propósitos experimenta cambios asociados con el desarrollo de la electrónica, se visualiza que un inventario de este tipo goza de una vigencia limitada. Por lo anterior, y por el número restringido de proveedores citado, debe tenerse

en cuenta que las orientaciones señaladas aquí deben confrontarse con la oferta comercial actualizada, la cual se puede consultar en la lista de proveedores en el sitio WWW que mantiene la Air and Waste Management Association (www.awma.org).

La fuente principal aquí consultada, traducida y resumida (y complementada) es el review “Web Sites on Air Pollution Instrumentation”, elaborado por Rishi Kumar, Balaji Ramaswamy y el Dr. Ashok Kumar, ahora disponible en la red, en los sitios www.eng.utoledo.edu/~akumar/IAP1/instrumentation.htm y <http://onlinelibrary.wiley.com>, [121]. Hay que estar de acuerdo con esta fuente cuando asegura que en el ordenamiento actual están presentes, cada vez más, requerimientos crecientes, y que el proyecto ambiental de cada planta involucra mediciones de campo para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes. Estas regulaciones varían en mayor o menor medida. Por ejemplo, en USA es obligación tener en cuenta el ámbito local tanto como el estatal, ya sea que se trate de modificaciones menores, permiso para prevención de deterioros significativos (PSD) o reglas para revisión de nuevas macro-fuentes (NSR). Continúan Kumar *et al.* planteando que el primer paso en prácticamente cualquier análisis regulatorio respecto a calidad de aire es definir presencia de contaminantes a través de un inventario certero de fuentes de emisiones; esto determina cuáles normas y cuáles niveles permisibles aplican. Las emisiones son frecuentemente calculadas usando factores de emisión, los que pueden hallarse en varias referencias. La más común es EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors, también conocida como “AP-42” (visitar el sitio EPA). La gran mayoría de fábricas sujetas a permisos ambientales deben conducir alguna clase de monitoreo para determinar el cumplimiento o el no cumplimiento con los límites vigentes; y también, sigue [57], muchos estatutos requieren monitoreos de aire antes y después de una construcción, o demostración de observancia a través de un modelamiento. En cualquier caso hay que practicar mediciones, y para el propósito existe una oferta de instrumentación para interiores y exteriores. Hay adjunto un listado de referencias que contienen los principios básicos de medición.

Los instrumentos están clasificados en cuatro grupos: medidores de concentración (gases y partículas); sistemas de monitoreo continuo (para chimeneas); dispositivos para medición de aire; y meteorológicos. Estos últimos se exponen en el subcapítulo CONDICIONES AMBIENTALES. Las Tablas 46, 47, 48, 49, y 410 resumen la disponibilidad recopilada de instrumental y los posibles proveedores en las tres primeras categorías.

Tabla 4.6. Características de instrumentos para medir concentraciones en IAQ [57].

Medida	Instrumento												
	GASMANII	CEA Series U	UniMax	BC Carbon Di-oxide Detector	MiniVol Portable air sampler	YES-206Falcon	Hydrogen Sulfide monitor	Smart Max II	Gas Sentinel	GASMASTER ATX Series	Chloralert Plus	Safety Area Monitor	AQS 1
					by Airmetrics		by ISCO	by Control Ins.	by Bacharach	by Crowcon		by Unimax	by Aeroqual
Temp.						×							
HR %						×							
TSP					×								×
PM10					×								×
PM2.5					×								×
CO	×	×	×		×	×						×	
CO2				×		×							
H2CO													
Pb													
NOx					×	×						×	×
O3											×		×
SO2		×	×			×					×	×	
O2	×		×			×		×				×	
H2S	×	×	×			×	×	×				×	
CH4	×												
NH3		×				×					×	×	
CFC's		×											
Cl2			×								×	×	
Rn													
CnHm		×											
C2H4O		×				×							
ClO2			×										
HCN						×						×	
Gases comb.								×					
Extras	otros	low or high ppm; % LEL		Inmediato, si alto %		cambia sensores			Continuo	variedad	otros; muy rápido		PM1

Tabla 4.7. Lista de Proveedores de Instrumentos para Medir Concentraciones en IAQ [57].

Nombre Compañía	Información del contacto
Aacal Auriema Ltd., Inglaterra	http://www.acal-auriema.co.uk/
Anglo Scientific Instruments, Devon, U.K.	http://www.a-s-i.demon.co.uk/
AquaTronix Inc. , Canadá	aquatronix@followme.com
CEA Instruments Inc., Emerson, NJ	ceainstr@aol.com
Control Instruments Corp., NJ	sales@controlinstruments.com
Control Equipment Limited, Inglaterra	http://www.controlequipment.com/

Nombre Compañía	Información del contacto
GasTech., Newark, CA	http://www.gastech-inc.com/
ISCO Process Monitoring, Lincoln, NE	Tel. 402-474-2233/1-800-228-4373
Levitt Safety, Canadá	Tel: 1-800-668-6155
Norsk Elektro Optikk A/S, Noruega	http://www.neo.no/
Nortech GSI Inc., Canadá	nortech@nortechgsi.com
UniMax or Lumidor safety Products, FL	lumchess@aol.com
Vacu med, Ventura, CA	http://www.vacumed.com/
Willer Engineering Ltd, Canadá	http://www.willereeng.com/
Young Environmental Systems Inc., Canadá	info@yestek.com

Las siguientes son imágenes de los instrumentos Extech VPC 300 y FLUKE particle counter (ejemplo de la limitación de las tablas es que estos equipos/proveedores no figuran), Figura 4.3 que, como es visible, corresponde a equipos manuales y con las mismas funciones: hacer mediciones de PM's 0.3; 0.5; 1; 2.5; 5 y 10. Los costos averiguados son US\$1718 y US\$5500, respectivamente.



Figura 4.3. instrumentos Extech VPC 300 y FLUKE particle counter

Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS)

Informa [57] que el sitio web (www.icac.com), mantenido por el Institute of Clean Air Companies, provee una lista de proveedores de CEMS; los más importantes se relacionan en la *Tabla 4.8*. Estos sistemas son la forma más confiable y práctica para asegurarse de cumplir estándares y mantener parámetros que redundan en buen ambiente y una operación confiable y económica; un listado se muestra en la *Tabla 4.9*. El costo de estos equipos bajó un 50% en la última década.

Dispositivos para Medición de Aire

Se usan para medir velocidad del aire y caudal o tasa de flujo; generalmente clasificados como velómetros o anemómetros. Existen varios tipos según el principio de funcionamiento empleado, por ejemplo, tubo de Pitot, hilo caliente, turbina. El modelo AM03, de CPS inc., y el Series 440, de Kurz, son ejemplos de equipos manuales útiles en balanceos y pruebas en ventilación, aire acondicionado, etc. EDRA6, de AirFlow Inc., provee inmediatas lecturas de velocidad. La *Tabla 4.10* muestra los principales proveedores.

Tabla 4.8. Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones [57].

		Sistema de monitoreo continuo				
		SEC/MIR 9000	31-C-200	FTIR Air Monitoring System	TESTO 350	Scott Gas Plus-IR Model 4688 IR
		by Unimax	by Baldwin Environmental	by MIDAC Corporation	by Testo Inc.	by Scott
Características		Mide y registra bajo nivel de HCl; SO ₂ ; NO _x ; CO; CO ₂ ...		Mide y registra NO _x ; CO; CFC's	Mide y registra O ₂ ;CO;NO _x ; NO;NO ₂ ;SO ₂ ; Rh; F; fpm; eficiencia; caudal y presión	Para detección de hidrocarburos y dióxido de carbono
		Hasta siete contaminantes simultáneamente	Unidad de control muestreadora computarizada Para uso en sistemas muestreadores para datos en varios métodos ref. EPA	Detección a nivel de ppb (<i>partes por billón</i>) en cientos de químicos	portable	Mide y registra %LEL y v/v en: Butano; Etano; Hexano; Metano; Pentano; Propano; Propileno; Acetona; MEK; Alcohol Isopropílico; Metano Puro; Metanol; Tolueno; Butadieno; Etileno; Etanol; Isobutanol; Hexano; Benceno; Xileno; Dióxido de Carbono

Tabla 4.9. Lista de Proveedores de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEM's) [57].

Nombre compañía	Información del contacto
Advanced Concept and Design Inc., WA	http://www.coliwasa.com/
Baldwin Environmental, Nevada	http://www.coliwasa.com/
BW Technologies , Canadá	http://www.bwt.net/
Environmental Improvement Tech., AZ	JeffBillings@aristotle.com
Servomex, Norwwood, MA	info.servomex.com
UniMax or Lumidor Safety Products, Fl	lumchess@aol.com
Acme Engineering Products Inc.	http://www.i-factory.com/acme
Foxboro Environmental	http://www.foxboro.com/emo
Eco Physics, MI	http://ic.net/~ecophys/index.html
Monitor Labs, CO	http://www.monitorlabs.com
Testo Inc.	http://www.testo.com

Tabla 4.10. Lista de Proveedores de Dispositivos para Medición de Aire [57].

Nombre compañía	Información del contacto
Alnor Inc.	www.alnor.com
Dwyer instruments	https://www.dwyer-inst.com
Air Flow Inc	www.airflow.com
CPS Inc., FL	http://www.cpsproducts.com/
Kurz Instruments Inc., CA	http://www.kurz-instruments.com/
Omni Controls Inc., OH	http://www.omnicontrols.com/
RMG Meßtechnik, Germany	www.rmg.de/english.htm
Swoffer Instruments Inc., DC	http://www.swoffer.com/
CAFCO, OH	http://www.cafcoairfilter.com/
Airflow Inc., England	http://www.airflow.com/
Calibrated Instruments Inc., NY	www.ritter.de/usa
Testo Inc.	http://www.testo.co

CALIDAD DE AIRE EN COLOMBIA

De acuerdo con el ordenamiento jurídico nacional, recae en el gobierno la responsabilidad de la preservación del medio ambiente, parte importante de la cual concierne a la calidad del aire. En nuestro país el gobierno está dirigido por un presidente, al cual reportan los distintos ministerios, siendo el Ministerio del Medio Ambiente (Minambiente) el encargado de este trabajo. El IDEAM —Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales— es el organismo adscrito al ministerio que ejerce las tareas sobre el manejo del aire en el territorio nacional.

En el portal oficial correspondiente se plantea que la contaminación ambiental es una alteración física, química y biológica que un medio o un territorio pueden sufrir por la dinámica de medios naturales y/o antrópicos; igualmente, que el control de la contaminación comienza con la generación de datos e información a través de las caracterizaciones de diversos ecosistemas, y se concreta en las políticas públicas tomadas, ejercidas, exigidas y ejecutadas. El esquema general de tales políticas, expresadas en las resoluciones ministeriales, se ilustra en la *Figura 4.4*.

Es visible en el gráfico que los reglamentos se orientan hacia dos campos principales: el correspondiente a la calidad de aire para el ciudadano habitante, y el referente a las condiciones a cumplir por las fuentes generadoras de contaminantes. Las páginas siguientes son *resúmenes* dedicados a mostrar, de manera muy clara y compacta, los detalles y los alcances que los textos de esas normatividades traen. Las resoluciones con prácticamente todo el peso de las definiciones son las 601 de 2006, 909 de 2008, 610 de 2010, 650 de 2010, 2153 de 2010, 2154 de 2010, y 1377 de 2015. El panorama se completa

AÑO	PUBLICACIÓN	CONTENIDO		
		GENERAL	FUENTES FIJAS	OTROS
2006	Resol. 601 9p., 15 art. <i>modificada x 610-10</i>	Queda casi totalmente sustituida por 610-10		
2007				
2008	Resol. 909 36p., 104 art. <i>modificada x 1377-15</i>		<p>Norma emisiones admisibles por fuentes fijas</p> <p>Art. 4 T1: Emisiones admisibles por toda industria MP, SO₂, NO_x, HF, HCL, HCT, diox/furanos, H₂SO₄, Pb, Cd, Cu [en mg/m³ y EQT]</p> <p>Art. 6 T3: contaminantes a monitorear para cada industria [son 40 individuales + 1 genérica], la genérica lista todos T1 + COV, Hg, NH₃, H₂S, mercaptanos, COT.</p> <p>Art. 7/68, T4/34: estándares (cuantificados) emisión admisibles de contaminantes para diversas industrias.</p> <p>Art. 68/71: obligación chimeneas según protocolo anexo 1: definiciones, 4p</p>	
2009				
2010	Resol. 610 8p., 7 art. <i>modifica a 601-06</i>	<p>Establece la norma calidad aire = niveles máx. para contaminantes</p> <p>Art. 2 T1: niveles máx permisibles según tiempo exposición para PST, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO_x, O₃, CO.</p> <p>Art. 3, T's 2 y 3: niveles máx permisibles por sust. carcinogénicas y para sust. olores ofensivos. 6 y 15 respectivamente.</p> <p>Art. 6, T4: concentración y tiempo de exposición a contaminantes para niveles de prevención, alerta y emergencia. Los de T1 excepto PM_{2.5}</p>		
	Resol. 650 <i>sólo remite a 2153 y 2154</i>			
	Resol. 651 <i>Sólo se remite a 2153</i>			
	Resol. 760			
	Resol. 2153 76p., 2 art.		<p>Es el protocolo para control - vigilancia contaminación generada por fuentes fijas (manual técnico). Especificaciones técnicas detalladas sobre:</p> <p>1. Medición emisiones (cumplimiento se verifica por medición directa en chimenea). 2. Estudios emisiones. 3. Monitoreo emisiones (frecuencia). 4. Buenas prácticas ingeniería para chimeneas. 5. Caudales emisiones. 6. Contingencia por fallos controles. 7. Control emisiones molestas. 8. Pruebas por nuevos contaminantes.</p>	<p>Crea subsistema de información sobre calidad de aire = SISAIRE administrado por el IDEAM.</p>
	Resol. 2154 224p., 2 art. protocolo	<p>Es el protocolo para monitoreo calidad aire y son 2 manuales MANUAL DISEÑO SVCA(108p): da etapas generales, revisión inicial, fase final y parámetros diseño, criterios por modificaciones recursos necesario, clasificación áreas-fuente, validez monitoreos MANUAL OPERACIÓN SVCA(116p): lineamientos para operar SVCA, sistemas tecnológicos, elementos comunes, control, reportes. Presenta además el índice nacional de calidad de aire los contaminantes relevantes y forma de evaluarlos</p>		
2011 2014				
2015	Resol. 1377 6p., 7art. <i>modifica a 909-08</i>	Sólo se hace unas adiciones y correcciones.		
2016	INFORME DE LA CALIDAD DE AIRE EN COLOMBIA 2011-2015 195p.			<p>Resultado de monitoreos de 21 SVCA's, contaminantes estudiados PST, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO_x, CO, SO₂ mayores incumplimientos: PM_{2.5} y PM₁₀. Se intentó correlaciones PM_{2.5} con vientos y con infecciones respiratorias.</p>

Figura 4.4. Panorama General del Marco Jurídico Colombiano en Relación a la Calidad del Aire.

con el “Informe de calidad de aire nacional 2011-2015”, el cual supuestamente debe ser balance de la praxis al respecto. También se ilustra acerca del listado de laboratorios locales acreditados por el IDEAM.

RESOLUCIÓN 610 DE 2010 [92][8 págs./ 7 art.]. “Por la que se modifica [y casi la sustituye] la Resolución 601 de 2006 [93] [...] establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión (*cantidad de contaminantes absorbidos por un receptor*), para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

ARTÍCULO SEGUNDO.- Modificar el Artículo 4 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedará así: “Artículo 4. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio. En la Tabla 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales se calculan con el promedio geométrico para PST *partículas suspendidas totales* y promedio aritmético para los demás contaminantes”.

ARTÍCULO TERCERO.- Modificar el Artículo 5 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedara así: “Artículo 5. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes No Convencionales con Efectos Carcinogénicos y Umbrales para las Principales Sustancias Generadoras de Olores Ofensivos. En la Tabla 2 se establecen los niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos y en la Tabla 3 se establecen los umbrales para las principales sustancias generadoras de olores ofensivos”.

Tabla 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes.

Contaminante	Nivel Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PST	100	anual
	300	24 horas
PM10	50	anual
	100	24 horas
PM2.5	25	anual
	50	24 horas
SO2	80	anual
	250	24 horas
	750	3 horas
NO2	100	anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O3	80	8 horas
	120	1 hora
CO	10.000	8 horas
	40.000	1 hora

Tabla 2. Niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos.

Contaminante No Convencional	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
Benceno	5	anual
Plomo y sus compuestos	0.5	anual
	1.5	24 horas
Cadmio	5×10^{-3}	Anual
Mercurio inorgánico (vapores)	1	anual
	260	1 semana
Tolueno	1000	30 minutos
Vanadio	1	24 horas

Tabla 3. Umbrales para sustancias generadoras de olores ofensivos

Contaminante	Umbral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Acetaldehído ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)	380
Ácido Butírico ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	4.0
Amoniac (NH_3)	35.0
Clorofenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{ClO}$)	0.1
Dicloruro de azufre (SCl_2)	4.2
Etil mercaptano ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)	0.5
Etil acrilato ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$)	2.0
Estireno (C_8H_8)	200
Monometil amina (CH_5N)	27.0
Metil mercaptano (CH_3SH)	4.0
Nitrobenceno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$)	24.0
Propil mercaptano ($\text{C}_3\text{H}_7\text{S}$)	22.0
Butil mercaptano ($\text{C}_4\text{H}_9\text{S}$)	3.0
Sulfuro de dimetilo ($\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$)	5.0
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	7.0

ARTÍCULO CUARTO.- Modificar el Artículo 6 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedará así: “Artículo 6. Procedimientos de Medición de la Calidad del Aire: El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial **adoptará** a nivel nacional el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*, el cual será **elaborado** por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) dentro de los seis (6) meses siguientes a la publicación de la presente resolución. Dicho protocolo contendrá las especificaciones generales para la ubicación y el diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire... Parágrafo Tercero: **Mientras [tanto]** el IDEAM adopta los métodos de medición de contaminantes señalados en el párrafo anterior, **se seguirán los métodos** establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA)...¹ [Ver la Resolución del Ministerio de Ambiente 650 de 2010 y luego la 2154].

ARTÍCULO QUINTO.- Modificar el Artículo 8 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedará así: “Artículo 8. Mediciones de Calidad del Aire por las Autoridades Ambientales. Las autoridades ambientales competentes están obligadas a realizar mediciones de calidad del aire [...]”

ARTÍCULO SEXTO.- Modificar el Artículo 10 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedará así: “Artículo 10. Declaración de los Niveles de Prevención, Alerta y Emergencia por Contaminación del Aire. La concentración a condiciones de referencia y el tiempo de exposición bajo los cuales se debe declarar por parte de las autoridades ambientales competentes los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia, se establecen en la Tabla 4”

RESOLUCIÓN 909 DE 2008 [94] [36 págs./104 art.]. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas...(modificada por la resolución 1377 de 2015, en muy pequeña medida).

Tabla 4. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.

Contaminante	Tiempo de Exposición (hrs)	Estados Excepcionales		
		Prevención (µg/m3)	Alerta (µg/m3)	Emergencia (µg/m3)
PST,PM ₁₀ ,SO ₂ ,NO ₂ , O ₃ ,CO	24,24,24,1,1,8	375,300,500,400, 350,17.000	625,400,1000, 800,700,34.000	875,500,1.600,2.000, 1.000,46.000

1 El resaltado es nuestro. Enfatízase el hecho de que se orienta hacia una normatividad extranjera.

[...] ARTÍCULOS 2/3. [...] establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias [...] estas disposiciones se establecen para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios [...] y en el control de emisiones molestas, aplica además a todos los establecimientos de comercio y de servicio.

[...]

ARTÍCULO 4

[...]

Tabla 1. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%. [Aplica para las actividades industriales definidas en el Artículo 6].

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Todos	550	550
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	Todos	500	500
Compuestos de Flúor Inorgánico (HF)	Todos	8	
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	Todos	40	
Hidrocarburos Totales (HCT)	Todos	50	
Dioxinas y Furanos	Todos	0.5*	
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H ₂ SO ₄	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 sig. unidades: (ng-EQT / m³), EQT: Equivalencia de Toxicidad

Parágrafos 1 a 6: Producción de pigmentos inorgánicos a base de caolín, carbonato de sodio y azufre, tendrán límite de emisión admisible de SO₂ de 2000 mg/m³ y el oxígeno de referencia será del 18%; producción de ácido sulfúrico y de azufre tendrán límite de SO₂ de 1600 mg/m³ (instalaciones existentes) y 900 mg/m³ (nuevas); producción de caprolactama tendrá un límite para SO₂ de 1600 mg/m³ y para NO_x de 1000 mg/m³; fabricación de

vidrio tendrá límite para SO₂ de 700 mg/m³ y para NO_x de 1000 mg/m³; generación eléctrica con motores de combustión interna >=1 MW límite MP de 50 mg/m³, para SO₂ de 400 mg/m³ y para NO_x de 300 mg/m³; corrección por oxígeno de referencia aplica únicamente a los procesos con combustión.

ARTÍCULO 5. Factores de equivalencia para dioxinas y furanos. Las actividades industriales a las cuales les corresponda realizar la medición de dioxinas y furanos deben utilizar los factores de equivalencia (Tabla 2) [la tabla 2 trae 5 grupos][...]

ARTÍCULO 6. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial. En la Tabla 3 se establecen las actividades industriales y los contaminantes que cada una de las actividades industriales debe monitorear.

Tabla 3. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial.

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
Producción de ácido nítrico	Cualquier instalación que produzca ácido nítrico débil por el proceso de presión o de presión atmosférica (con excepción de los procesos en los que se obtenga ácido nítrico con concentración superior al 70%, por medio de destilación).	NO _x
Producción de ácido sulfúrico	Cualquier instalación que produzca ácido sulfúrico por el proceso de contacto por medio del quemado de azufre elemental, ácido de alquilación....etc.	SO ₂ Neblina ácida o trióxido de azufre
Producción de ácido clorhídrico	[...]donde se produzca ácido clorhídrico, incluidos los sistemas de ventilación, tanques [...] etc.	HCl
Producción de llantas y cámaras de caucho natural y sintético	Cualquier operación de cementado por debajo de la banda de rodamiento, por el costado, por la banda de rodamiento o en el sellante de la llanta y cada operación de rociado a llantas sin curar.	MP SO ₂ NO _x HCT
Otras actividades industriales	Procesos e instalaciones que generen emisiones contaminantes a la atmósfera.	MP, SO ₂ , NO _x , HF, HCl, HCT, Dioxinas y Furanos, Neblinas ácida o trióxido de azufre, COV, Pb, Cd, Cu, CO, Hg, Amoníaco (NH ₃), Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S) y mercaptanos, Carbono Orgánico Total (COT)

Son **cuarenta** actividades industriales **diferenciadas más una** última **genérica** [...]

[...]Parágrafos: [...]Cuando una actividad industrial cuente adicionalmente con equipos de combustión externa con calentamiento directo o indirecto, debe cumplir con los estándares del Artículo 7[...]

La segunda parte de la Resolución 909 se condensa en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Resumen 2ª parte resolución 909 de 2008 [94]

Instalación [E]=existente [N]=nuevo/a	Combustible	Flujo contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles (mg/m³) – fuentes fijas													Temp. admisible (°C)	O ₂ ref	
			MP	SO ₂	NOx	CO	COT	HCl	HF	Hg	HC _T	ng-TEQ/m ³	NH ₃	H ₂ S	Mer cap tanos (ppm)			
Equipos combustión externa [E] T4	Sólido		200	500	350													
	Líquido		200	500	350													
	Gaseoso		NA	NA	350													
Equipos combustión externa [N] T5	Sólido		50	500	350													
	Líquido		50	500	350													
	Gaseoso		NA	NA	350													
Centrales térmicas [E] >20 MW T6	Sólido		100	2800	760													6%
	Líquido		100	2000	650													3%
	Gaseoso		NA	NA	300													3%
Centrales térmicas [N] >20 MW T7	Sólido		50	2000	600													6%
	Líquido		50	2000	450													3%
	Gaseoso		NA	NA	300													3%
centrales térmicas con turbinas a gas [E, N] >20 MW T8	Gaseoso		NA	NA	120													
	Líquido		NA	850	300													
Centrales térmicas <20MW, plantas cogeneración, calderas>25t/h[E] T9, art7	Sólido		100	2800	760													6%
	Líquido		100	2000	650													3%
	Gaseoso		NA	NA	300													3%
Centrales térmicas <20MW, plantas cogeneración, calderas>25t/h[N] T10,art8	Sólido		50	2000	600													6%
	Líquido		50	2000	450													3%
	Gaseoso		NA	NA	300													3%
Centrales térmicas con turbinas a gas [E, N] <20 MW T11	Gaseoso		NA	NA	120													
	Líquido		NA	850	300													

Continúa

Instalación [E]=existente [N]=nuevo/a	Combustible	Flujo contaminante (kg/h) MP	Estándares de emisión admisibles (mg/m³) – fuentes fijas												Temp. admisible (°C)		
			SO ₂	NOx	CO	COT	HCl	HF	Hg	HC _v	ng-TEQ/m³	NH ₃	H ₂ S	Mer cap tanos (ppm)			
Fabricación de productos textiles [E] T12	Gas natural	Todos	NA	NA	550												
Otros	Todos	250	550	550													
Fabricación de productos textiles [N] T13	Gas natural	Todos	NA	NA	350												
otros	Todos	50	500	350													
Equipos/combustión externa E] T14	biomasa		300		350												
Equipos/combustión externa[N] T15	biomasa		50		350												
Refinación del petróleo [E] T16	Sólido		170	2800	760												
Líquido		170	2000	650													
Gaseoso		NA	NA	300													
Refinación del petróleo [N] T17	Sólido		50	1700	600												
Líquido		50	1700	450													
Gaseoso		NA	NA	300													
Instalaciones mineras [E] T18		< 0.5	250														
	> 0.5	150															
Instalaciones mineras [N] T19		< 0.5	100														
	> 0.5	50															
Hornos cementeros [E] T20	Procesos húmedo y seco		150	550	800												

Continúa

Instalación [E]=existente [N]=nuevo/a	Combustible	Flujo contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³) - fuentes fijas													Temperatura admisible (°C)		
			MP	SO ₂	NOx	CO	COT	HCl	HF	Hg	HC _r	ng-TEQ/m ³	NH ₃	H ₂ S (ppm)	Mer cap tanos (ppm)			
Secador materias primas [E] T20			150	550	550													
Hornos cementeros [N] T21			50	500	600													
Secador materias primas [N] T21			50	500	500													
Plantas cementeras y producción de concreto sin combustión [E] T22		< 0.5	250															
		> 0.5	150															
Plantas cementeras y producción de concreto sin combustión[N] T23		< 0.5	150															
		> 0.5	50															
Fabricación productos cerámica refractaria/no refractaria/arcilla[E] T24/T26/art. 33	Sólido		250	550	550			40	8									
	Líquido		250	550	550			40	8									
	gaseoso		NA	NA	550			40	8									
Fabricación productos cerámica refractaria/no refractaria/arcilla[N] T25/T26/art. 33; res1377, art. 2	Sólido		50	500	500			40	8									
	Líquido		50	500	500			40	8									
	Gaseoso		NA	NA	500			40	8									
Tratamiento térmico subproductos de animales T27/arts. 36, 39			50										35		5			Poscomb:760 °C/.5s; T _{cal} <250 °C

Continúa

Instalación [E]=existente [N]=nuevo/a	Promedio	Estándares de emisión admisibles (mg/m3) - fuentes fijas													Temperatura admisible (°C)			
		MP	SO ₂	NOx	CO	COT	HCl	HF	Hg	HC _T	ng-TEQ/ m ³	Cd + Tl	Metales = As+P- b+Cr+ Co+Ni+ V+Cu+Mn+S- b+Sn	Tiempo retención		Benzopir. Dibenzo antraceno (µg/m3)		
Incineración residuos/de sechos peligrosos T28/ T29/ T31/T32 arts. 44, 50, 53	> 500 kg/h	Diario	10	50	200	50		10	1	0.03	10							T _{comb} >850 T _{pos-comb} >1200
		Horario	20	200	400	100		40	4	0.05	20							
	< 500 kg/h	Diario	15	50	200	50		15	1	0.05	10							T _{comb} >800 T _{pos-comb} >1100
		Horario	30	200	400	100		60	4	0.1	20		0.05	0.5		Cámara postcom- bustión >2s		T _{comb} >750 T _{pos-comb} >1000
	> 600 kg/ mes	Diario	NA	75	250	100		30	3	0.1	30							T _{comb} >750 T _{pos-comb} >1000
		Horario	80	250	500	200		80	8	0.2	50							T _{salida} <250
Hornos cementeros con coprocesamiento residuos/desechos peligrosos T30/ T31/ T32/ art46,47,50,53		Diario	50	500	550		10	10	1	0.05			0.1	0.05	0.5		4s	T _{ingreso} >1100 T _{quemadorppal} >1800 T _{salida} <250
Incineración residuos no peligrosos art54,57/T33	> 500 kg/h	Diario	10	50	200	50					10							
		Horario	20	200	400	100					20							
	< 500 kg/h	Diario	15	50	200	50	10	10	1	0.05	10		0.1	0.05	0.5		Cámara postcom- bustión >2s	T _{comb} >800 T _{pos-comb} >1200 T _{salida gases pos-comb} <250
		Horario	30	200	400	100				20								
Hornos crematorios art62, 63, 65/T34		Diario	NA			75					15						cámara postcom- bustión >2s	T _{comb} >750 T _{pos-comb} >900 T _{salida gases} <250
Horario		50			150					30								

T's 4/5/12/13/20/21/29/30/31/32/33/34/art65.....Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%.

T's 6/7/9/10/16/17/18/19/22/23/art50/art57 condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg)

T's 8/11/..... a condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 15%.

T's 14/15/..... a condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 13%.

T's 24/25/26/..... a condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

T's 27/..... a condiciones de referencia (25° C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 6%.

ARTÍCULOS 69/70/71. Obligatoriedad de construcción de un ducto o chimenea. Toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de éstos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables[...], [...]La altura de la chimenea, diámetro, localización de muestreos, etc., se determinarán con base en las estructuras cercanas y de acuerdo al “Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas” (Resolución 2153 de 2010, Capítulo 4º, Determinación Altura Descarga / Buenas Prácticas de Ingeniería).

[...]

CAPÍTULO XIX: SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES

[...]

CAPÍTULO XX: CONVENIOS DE RECONVERSIÓN A TECNOLOGÍAS LIMPIAS

[...]

ARTÍCULO 92. Procesos de combustión utilizando biomasa[...] industrias que utilicen biomasa como combustible [...]cumpliendo con [...] Artículo 94[...] deben realizar la corrección por oxígeno al 13% y no les aplicará los estándares de emisión admisibles para SO₂[...] Parágrafo: [...]deben controlar[...] porcentaje en peso de humedad de la biomasa, temperatura de los gases de chimenea, poder calorífico de la biomasa (en base seca) y porcentaje en volumen de exceso de oxígeno en los gases de chimenea.

ARTÍCULO 93. Procesos de combustión utilizando aceite usado. [...]por Resolución 415 de 1998 y la Resolución 1446 del 2005 ...debe cumplir con los estándares de emisión admisibles para Cadmio y Plomo establecidos en la Tabla 1[...] adicional a estándares de emisión admisibles establecidos [...]para la respectiva actividad industrial o equipo de combustión externa.

ARTÍCULO 95. Registro Único Ambiental. Están obligados a diligenciar el Registro Único Ambiental – RUA todos los establecimientos, cuyas actividades o equipos [...]

ARTÍCULO 97. Origen del carbón. [...]los que utilicen carbón como combustible, deben garantizar la legal procedencia del mismo, llevando el registro de consumo de combustibles (artículo 2 de la Resolución 623 de 1998)[...] las autorizaciones mineras de explotación, la licencia o plan de manejo ambiental, los permisos de uso, aprovechamiento o afectación de recursos naturales y los registros de compra.

ARTÍCULO 99. Competencia. Las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible y las Autoridades Ambientales a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, y el artículo 13 de la Ley 768 de

2002, ejercerán las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de acuerdo a lo dispuesto en la presente Resolución [...]

[...] ARTÍCULO 102. Transitorio. Residuos permitidos mediante tratamiento térmico en instalaciones de incineración de residuos y/o desechos peligrosos y hornos cementeros que realicen coprocesamiento... lista de 9 más los demás que el Ministerio de Medio Ambiente establezca, con base en los estudios técnicos que indiquen la necesidad de controlar otras emisiones.

RESOLUCIÓN NÚMERO 1377 DE 2015 [95].(6 págs, 7 arts.) modifica la Resolución 909 de 2008

A la Resol. 909 solo adiciona los arts. 33, art. 60 (nueva T 33A estándares adicionales), y art. 60A; a la Resol. 760 de 2010 adiciona al numeral 3.1.3; y finalmente normatiza sistemas de gasificación y plasma para tratamiento de residuos.

RESOLUCIÓN 651 DE 2010 (Mar. 29, 3 págs., 7 arts.) [...] “Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRES”. El SISAIRES, administrado por el IDEAM, es la principal fuente de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la calidad del aire; las corporaciones y autoridades están obligadas a reportarle la información de calidad del aire, meteorológica y de ruido. Es un sistema bajo ambiente Web que permite la captura y revisión constante de los datos. El SISAIRES permite: 1) Recolectar información de las variables meteorológicas y de calidad del aire, facilitando la disponibilidad y la calidad de la información ambiental que se requiera por parte del ministerio para el desarrollo sostenible del país. 2) Facilitar el acceso y consulta de la información a los ciudadanos y las instituciones encargadas de la investigación en el tema ambiental.

RESOLUCIÓN 650 DE 2010 [96] (MARZO 29; 1 pág., 2 arts.). Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire” [...] dice que el **protocolo está compuesto por dos manuales: el de diseño y el de operación de SVCA** (Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire), no incluidos aquí [Estos manuales están incluidos en las Resol. 2153 y Resol. 2154].

RESOLUCIÓN NÚMERO 2153 DE 2010 [97] (Noviembre 2; 76 págs: 2 artículos y el protocolo). Por la cual se **ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas**, [...] El Protocolo es parte integral de la resolución, y es el documento

con las descripciones técnicas detalladas de procedimientos de medición de emisiones, los cuidados a tener en cada caso particular, sus especificaciones técnicas, las formas aceptables de monitoreo, las indicaciones y los datos necesarios en cálculos y balances, instalaciones y equipo necesario, incertidumbre, ambientales, bibliografía, [...] luego es el **MANUAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE** que “explica los procedimientos para operar un SVCA”.

Contenido

1. **PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS** ([...] en cada contaminante el cumplimiento del estándar se verifica mediante medición directa de las emisiones en chimenea [...] Para practicar esas mediciones se adoptaron los métodos del Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos (CFR) T's1/2/3 [...]).
2. **ESTUDIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS** (requeridos para establecer cumplimientos y eventual control, y para diagnósticos globales; se especifica detalladamente la forma de presentación, contenidos, anexos [...]).
3. **MONITOREO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS** (frecuencia con la cual se deberán realizar los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas por parte de las fuentes fijas según artículo 91 de la Resolución 909 [...] T's 4/5/6/7/8/9).
4. **DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE DESCARGA. APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA** (se exponen las “Buenas Prácticas de Ingeniería” para determinación de la altura de la chimenea,.. involucrando las condiciones del entorno: dimensiones estructuras propia y cercanas, la dirección del viento, influencia que pueden tener las estructuras cercanas en la dispersión [...], etc.).
5. **SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS** (se presentan los requerimientos de funcionamiento de algunos sistemas de control de emisiones atmosféricas: ciclones, precipitadores electrostáticos, quemadores de gases, incineradores, lavadores húmedo y Venturi, oxidación térmica y catalítica, carbón activado, etc.).
6. **PLAN DE CONTINGENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS** (generales sobre requisitos de los planes contingencia cuando salen de servicio los sistemas de control).
7. **DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES MOLESTAS** (se listan algunos sistemas de control de emisiones molestas y las variables de operación que se deben controlar para su adecuado funcionamiento).

8. PRUEBA DE QUEMADO PARA INSTALACIONES DONDE SE REALICE TRATAMIENTO TÉRMICO DE RESIDUOS PELIGROSOS (incinerador deberá realizar una prueba de quemado si desea incluir un residuo nuevo; se dan indicaciones del proceso).

Tabla 1. Métodos evaluación emisiones contaminantes.

Método	Descripción
1/1a-2/2h caudal	Determinación punto muestreo, velocidad, caudal...
3/3c	Análisis gases y concentraciones: O ₂ , CO ₂ , CH ₄ , N ₂
4	Determinación contenido humedad gases chimenea
5/5i	Determinación emisiones material particulado
6/6c	Determinación SO ₂
7/7e	Determinación NOx
8	Determinación H ₂ SO ₄ , SO ₂
9	Determinación opacidad
10/10b	Determinación CO
11	Determinación H ₂ S
12	Determinación Pb
13/13b-14/14a	Determinación fluoruros
15/15 ^a -16/16b	Determinación comp. azufre
17	Determinación MP
18	Determinación comp. orgánicos
19/20	Determinación SO ₂ , mat. particulado, NOx
21	Determinación orgánicos volátiles
22	Determinación emisiones fugitivas fuentes material/humos
23	Determinación dioxinas/furanos en incineradores
24/24a	Determinación material volátil/agua/densidad/sólidos en recubrimientos/rotograbado
25/25e	Determinación emisiones gaseosas orgánicas
26/26a	Determinación haluros/halógenos
29	Determinación metales

Los métodos de mediciones directas la tabla anterior serán los publicados por el

IDEAM. Si no está publicado por el IDEAM, se deberá utilizar el aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US-EPA.

Tabla 2. Matriz de análisis de contaminantes [son consideraciones técnicas que deben observarse para la toma de muestras directamente relacionadas con el contaminante: por ejemplo, tiempo mínimo, volumen mínimo, etc.].

Actividad	Contaminante	Método monitoreo	T _{min} ; v _{min} y otros
Producc. ácido nítrico	NOx	Refs. 1,2,3,4 y 7 Alternat. 3A [...]	60 min; caudal método 7c
Producc. ácido sulfúrico	SO ₂ , H ₂ SO ₄	Refs. 1,2,3 y 8 Alter [...]	
Producc. ácido clorhídrico	HCl	Etc [...]	
Producc. Llantas	MP,SO ₂ ,NOx,HC		
Producc. Asfalto	MP,SO ₂ ,NOx		
Fundición acero	MP,SO ₂ ,NOx,diox		
[...] son 48 actividades	[...]		

TABLA 3. Instalaciones mínimas para la realización de mediciones directas (con esquemas).

[...]

Tabla 4. Frecuencias de monitoreo de contaminantes para todas las instalaciones de incineración de residuos y/o desechos peligrosos y para todas las instalaciones donde se realice tratamiento térmico a residuos no peligrosos.

Contaminantes	Frecuencias de monitoreo
MP, SO ₂ , NO _x , CO	Continuo; registro cada 5 minutos
HCT como CH ₄ , HCl, HF, Cd+Tl, metales, Hg	Cada 6 meses
Metales = As+Pb+Cr+ Co+Ni+V+Cu+Mn+Sb+Sn	

Tabla 5. Frecuencias de monitoreo de contaminantes para hornos de incineración en hospitales y municipios categorías 5 y 6 con capacidad igual o inferior a 600 kg/mes.

Contaminantes	Frecuencias de monitoreo
MP, SO ₂ , NO _x , CO	Cada 6 meses
HCT como CH ₄ , HCl, HF	Cada año
Hg	Cada año
Cd+Tl, metales	Cada año
Metales = As+Pb+Cr+ Co+Ni+V+Cu+Mn+Sb+Sn	

Tabla 6. Frecuencias de monitoreo de contaminantes para hornos cementeros que realicen coprocesamiento de residuos y/o desechos peligrosos.

Contaminantes	Frecuencias de monitoreo
MP, SO ₂ , NO _x , HCl, HF	Continuo; registro cada 5 minutos
Hg, Cd+Tl, metales	Cada 6 meses
COT	Cada 6 meses
metales = As+Pb+Cr+ Co+Ni+V+Cu+Mn+Sb+Sn	

Tabla 7. Frecuencias de monitoreo de contaminantes para hornos crematorios.

Contaminantes	Frecuencias de monitoreo
MP	Cada 6 meses
CO	Continuo; registro cada 5 minutos
HCT como CH ₄	Cada 6 meses
Benzopireno + dibenzoantraceno	Cada 6 meses

Tabla 8. Frecuencias de monitoreo de dioxinas y furanos en instalaciones nuevas donde se realice tratamiento térmico de residuos y/o desechos peligrosos y hornos cementeros que realicen coprocesamiento tanto nuevos como existentes.

Frecuencias de monitoreo	
Instalaciones nuevas donde se realice tratamiento térmico de residuos y/o desechos peligrosos	Cada 8 meses
Incineradores de hospitales capacidad < 600 kg/mes	Dioxinas y furanos en 1er año; luego cada 2 años
Hornos cementeros que realicen coprocesamiento tanto nuevos como existentes	Cada año

Tabla 9.. Frecuencia de monitoreo contaminantes de acuerdo con la Unidad de Contaminación Atmosférica.

UCA	Grado de significancia del aporte contaminante	Frecuencia de monitoreo (años)
<0.25	Muy bajo	3
>0.25 y <0.5	Bajo	2
>0.5 y <1.0	Medio	1
>1.0 y <2.0	Alto	0.5
>2.0	Muy alto	0.25

[...] 3.5.1. Condiciones para la solicitud de monitoreo continuo de emisiones

[...] deben realizar monitoreo continuo de sus emisiones... los que cumplan [...] alguna de las siguientes condiciones:

- La actividad desarrollada corresponde al tratamiento térmico de residuos y/o desechos peligrosos, no peligrosos u horno crematorio [...]
- Las emisiones generadas por la actividad incrementan en más de un 40% la concentración de algún contaminante en el aire [...]
- La actividad que genera la emisión de los contaminantes es la única ubicada dentro del área comprendida entre la ubicación de la fuente y 0,8 km en todas las direcciones y además [...] PM10 no exceda 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [...] y NOx no exceda 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [...] y SO₂ no exceda 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [...] y Pb no exceda 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [...] y Cd no exceda 5 x 10⁻³ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

RESOLUCIÓN NÚMERO 2154 DE 2010 [98]_(Noviembre 2; 224 págs.: 2 artículos y el protocolo). Por la cual se ajusta el **Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire** adoptado a través de Resolución 650 de 2010 [...] El Protocolo es parte integral de la resolución, y son 2 (dos) manuales: el “**MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE SVCA...**” y el “**MANUAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE SVCA [...]**” [...]

MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE SVCA (108 PÁGS.)

1. INTRODUCCION (1pág.)[...] se dan las etapas generales, la revisión inicial, la fase final del montaje, operación y seguimiento. Además relata sobre clasificación de áreas-fuente de contaminación y validez de la información recolectada monitoreos...
2. ACRÓNIMOS (1 pág.)
3. ETAPAS DISEÑO SVCA (1 pág.) [...]diagramas de flujo para diseño de un SVCA y SVCAI..

4. REVISIÓN INICIAL (11 págs.) [...] argumentos para establecer la necesidad de un SVCA [...] su tamaño, objetivos, fase de diagnóstico (recolección información/emisiones/meteorología y modelación preliminares) [...]
5. FASE DISEÑO FINAL (27 págs.) [...] lineamientos detallados para realizar diseño detallado. Definición tipo (I, II, [...] industrial) objetivos, aplicación, número estaciones, componentes, consideraciones especiales, [...]
6. 6. PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN SVCA. (42 págs.) [...] Son otros aspectos del diseño final [...] clase según área, tiempo muestreo y emisiones/contaminantes/macrolocalización estación y microlocalización puntos vigilancia/técnicas medición/infraestructura necesaria/meteorología/software/estrategia muestreos [...]
7. MODIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES EN LOS SVCA (1 pág) ... cuándo, cómo y por qué suspender muestreadores...
8. RECURSOS NECESARIOS PARA MONTAJE, OPERACION Y SEGUIMIENTO DEL SVCA (9 págs.) [...] costo del diseño, inversión en instalación de estaciones, costos de medición, análisis, mantenimiento, repuestos e insumos, procesamiento de datos y reportes, control y aseguramiento de la calidad, administración.
9. BIBLIOGRAFÍA (11 obras citadas)

ANEXO 1. TEORÍA SOBRE CONTAMINANTES DE REFERENCIA (2 págs.) [...] Adaptado del MANUAL DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE. ALLEY [...] fig. de posición de partículas según tamaño en sistema respiratorio. Definiciones MP's, CO, NO_x, O₃ [...]

ANEXO 2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DETERMINACIÓN DE ÁREA-FUENTE (3págs) [...] para adelantar programas [...] las autoridades ambientales (a partir de mediciones históricas de concentración de contaminantes) deberán clasificar como áreas-fuente de contaminación las zonas [...] son cuatro clases [...] solamente se clasifican áreas-fuente de contaminación por PST, PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, y SO_x.

ANEXO 3. VALIDEZ DE MUESTRAS EN SVCA TIPO I – INDICATIVOS (3 págs.) [...] objetivo es verificar el cumplimiento normativo entonces se deben hacer mediciones según el número mínimo requerido en el presente protocolo, de acuerdo a la probabilidad de error definida [...] una confianza del 95% es ampliamente aceptada. TAMAÑO DE LA MUESTRA [...]

ANEXO 4. VALIDEZ DE MUESTRAS EN SVCAI – INDUSTRIAL (1 pág.) [...] estimación del número de días en los que se debe realizar monitoreo de calidad de aire en un SVCAI [...]

MANUAL DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE SVCA (116 PÁGS.)

1. INTRODUCCIÓN (1 pág.) [...] el manual incorpora los lineamientos para operar los SVCA [...] presenta los tipos de sistemas según su tecnología (manuales, automáticos e híbridos), los elementos comunes a todos, el programa de control, el análisis de la información generada y los reportes [...]
2. ACRÓNIMOS (2 págs.)
3. TIPOS DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA (2 págs.) [...] según los instrumentos muestreadores y analizadores usados pueden ser tipos manuales, automáticos o híbridos[...]SISTEMAS MANUALES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE (9 págs.) [...] se caracterizan por requerir: un laboratorio como apoyo para el análisis y una rutina para recolección de muestras [...] Fig. 2. Etapas de operación=cuatro etapas principales + dos de apoyo (Aseguramiento/Control de la Calidad y Mantenimiento/Calibración) [...] Fig. 3. Flujo del proceso [...] Figs 4/5/6. Determinación PST, PM10, PM2.5 [...] Figs. 7/8/9. Determinación SO_x, NO_x [...] procesamiento información, reportes, rutinas mantenimiento, calibración [...]
4. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE (27 págs.) [...] no requieren análisis posterior de la muestra [...] por métodos ópticos o eléctricos se analiza la muestra en tiempo real [...] y se toman acciones inmediatas [...] Fig. 12. Etapas de operación = tres etapas + dos de apoyo (aseguramiento/control calidad y Mantenimiento/Calibración) [...] Fig. 13. Analizador beta PST, PM10 y PM2.5; Fig. 14. Analizador SO_x; Fig. 15. Analizador NO_x; Fig. 16. Analizador O₃; Fig. 17. Analizador CO; analizador HC's; otros elementos necesarios; proceso información; reporte; mantenimiento; calibración [...]
5. SISTEMAS HÍBRIDOS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE (1 pág.) [...] Fig. 35. Etapas de operación (similar a los dos anteriores) [...] ELEMENTOS COMUNES EN TODOS LOS SVCA (69 págs.) [...] PROGRAMA ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD [todo SVCA deberá implementar un programa control/aseguramiento [...] calidad para garantizar datos representativos [...] procedimientos según textos de "Air Quality Handbook For Air Quality Measurements Systems" y de "Quality Assurance Handbook For Air Pollution Measurement Systems"] [...] MANEJO MUESTRAS Y CADENA CUSTODIA [...en SVCA manuales el principal error se debe al manejo muestras... procedimientos a seguir...] [...] ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GENERADA

EN LOS SVCA [bases de datos y manejo estadístico...comparaciones de concentraciones obtenidas versus la norma...] [...] INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL SVCA [análisis de captura/validez datos] [...] REPORTE DE CALIDAD DE AIRE [formatos y condiciones de presentación para reportes [...] Informe Meteorológico anual [...] Reportes Anual, trimestral y mensual de calidad de aire: ponen a disposición general, datos y análisis sobre la calidad del aire de las ciudades que poseen SVCA's, traen índices [...]

[...] 7.6.7 ÍNDICE NACIONAL DE CALIDAD DE AIRE [...] el Índice de Calidad de Aire ICA sirve para comparar los niveles de contaminación [...]

[...] 7.6.7.1. Contaminantes del índice nacional de calidad del aire: Teniendo en cuenta los contaminantes que son monitoreados en el país, las características de nuestros combustibles y los equipos que actualmente se encuentran en las SVCA, los contaminantes a tener en cuenta son: PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ y CO.

7.6.7.3. Puntos de corte del índice nacional de calidad del aire[...] según estudios EPA (2005) la relación entre los efectos sobre la salud y la calidad del aire se han clasificado por “puntos de corte del ICA”, límites correspondientes que se presentan en la Tabla 3.3 [...]

Tabla 3.3. Puntos de corte del ICA (según efectos en salud reportados EPA, 2005).

ICA	Color	Clasificación	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm(1)	PM ₁₀ 24h ppm	PM _{2.5} 24h ppm	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0-50	Verde	Buena	0.000 0.059	-	0 54	0.0 15.4	0.0 4.4	0.000 0.034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0.060 0.075	-	55 154	15.5 40.4	4.5 9.4	0.035 0.144	(2)
101-150	Naranja	Dañina x grupos sensibles	0.076 0.095	0.125 0.164	155 254	40.5 65.4	9.5 12.4	0.145 0.224	(2)
151-200	Rojo	Dañina x salud	0.096 0.115	0.165 0.204	255 354	65.5 150.4	12.5 15.4	0.225 0.304	(2)
201-300	Púrpura	Muy dañina x salud	0.116 0.374	0.205 0.404	355 424	150.5 250.4	15.5 30.4	0.305 0.604	0.65 1.24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0.405 0.504	425 504	250.5 350.4	30.5 40.4	0.605 0.804	1.25 1.64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0.505 0.604	505 604	350.5 500.4	40.5 50.4	0.805 1.004	1.65 2.04

(1)calcular 1h y 8h;
(2)sólo considerar ICA's >200; (3) ICA's >301 se calculan con concentraciones 1h

7.6.7.2. Rangos del índice nacional de calidad del aire: El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la Tabla 3.4 se

presentan los rangos cualitativos, los efectos a la salud y el valor del ICA [adoptados para el índice nacional].

Tabla 3.4. Efectos de salud de acuerdo con el rango y valor del índice de Calidad del aire.

ICA	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm	PM10 24h µg/m ³	PM2.5 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0-50 Buena	Ninguno		Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	
51-100 Moderada	Individuos no sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios		Posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Ninguno	Ninguno	
101-150 Dañina para grupos sensibles	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas y molestias respiratorias en niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias, como asma		Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Incremento de la probabilidad de reducir la tolerancia al ejercicio debido al aumento de los síntomas cardiovasculares, tal como, dolores de pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y dificultades al respirar en personas con asma	
151-200 Muy dañina a la salud	Mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y dificultad para respirar en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria, como asma; posibles efectos respiratorios de la población en general		Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general	Reducción de la tolerancia al ejercicio debido al incremento de los síntomas cardiovasculares como dolor de pecho en personas con enfermedad cardiovascular	Incremento de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y jadeo en personas con asma; posible recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	
201-300 Muy dañina a la salud	Síntomas cada vez más severos y respiración deteriorada probablemente en niños, adultos y personas activas con enfermedad respiratoria, como asma; incremento en la probabilidad de efectos respiratorios en la población general		Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento a la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento a la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general	Recrudecimiento significativo de los síntomas cardiovasculares, como dolores en el pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	Aumento significativo en síntomas respiratorios tales como jadeo y respiración corta en personas con asma; recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios; dificultad para respirar en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma
301-500	Efectos respiratorios severos, daños respiratorios en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria como asma; incremento de los efectos respiratorios severos probables en la población en general		Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general	Agravación seria de los síntomas cardiovasculares, tal como dolor de pecho en personas con enfermedades cardiovasculares, deterioro de las actividades energéticas en la población en general	Síntomas respiratorios severos como jadeo y disminución de la respiración en personas con asma; incremento de la gravedad de enfermedades cardíacas y pulmonares; posibles efectos respiratorios en la población general	Mayor incremento de la probabilidad de síntomas respiratorios y dificultades respiratorias en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma

8. BIBLIOGRAFÍA (34 refs.) [...]"

INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA 2011–2015 [58] (195 págs.) “Cítese como IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C.” (De libre acceso en la red)

[...] En este sentido, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, pone a disposición del público, la academia, las entidades nacionales públicas y privadas, la comunidad internacional, y demás interesados, el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia para los años 2011 a 2015; este es el tercer documento correspondiente a la actualización de dos informes previos que fueron publicados en 2007 y 2012. El informe fue elaborado con base en los resultados del monitoreo de contaminantes atmosféricos por parte de 21 Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) administrados por las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos. La información base reside en el subsistema SISAIRE, [...] Los **contaminantes**² que fueron **monitoreados** en estos SVCA fueron los reglamentados como criterio en la Resolución 610 de 2010 del Minambiente y que se enmarcan en dos grupos: material particulado, el cual según su tamaño puede clasificarse como Partículas Suspendedas Totales (**PST**), Material Particulado Menor a 10 Micras (**PM10**) y Material Particulado Menor a 2,5 Micras (**PM2.5**); y gases que comprenden el ozono (**O₃**), dióxido de nitrógeno (**NO₂**), monóxido de carbono (**CO**) y dióxido de azufre (**SO₂**). Cada uno de estos contaminantes tiene límites máximos permisibles en sus concentraciones para diferentes tiempos de exposición, cuya formulación tiene un sustento científico de sus efectos potenciales en la salud pública [...] El procedimiento consistió de seis actividades principales: 1) la evaluación de la representatividad de la información reportada, pues los SVCA permanentes deben tener una cobertura mínima anual del 75% con respecto al total posible de datos válidos a obtener; 2) la determinación del cumplimiento normativo mediante la comparación de las concentraciones de los contaminantes criterio con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010; 3) el análisis de las tendencias temporales y espaciales de la calidad del aire monitoreada en los diferentes SVCA; 4) la estimación del Índice de Calidad del Aire (ICA) para cada contaminante y estación de monitoreo, el cual permite identificar los efectos potenciales adversos de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en la salud pública; 5) el cruce de información de las concentraciones

2 El resaltado es nuestro. Se desea resaltar el enfoque del trabajo.

de los contaminantes atmosféricos con información de variables meteorológicas; y 6) el cruce de información de material particulado con casos de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA). En términos generales, [...] los **mayores incumplimientos de los límites** máximos permisibles [...] y el mayor potencial de afectación a la salud pública **fueron** el material particulado **PM2.5 y PM10**, especialmente en las zonas [...] con alta densidad de población [...] y donde se desarrollan actividades especiales asociadas principalmente con la minería [...]

Figuras 6-1 a 6-29 [...] Concentraciones PST/PM10/PM2.5 promedios [...] 2011/2015 [...] estaciones de los SVCA de [...] Las líneas rojas indican límites máximos permisibles **Figuras 6-30 a 6-35** [...] Número de días de excedencias de O3 para las estaciones de los SVCA [...]

Figura 6-36 a 6-39 [...] Concentraciones promedio anuales de NO2 entre 2011 y 2014 para las estaciones de los SVCA [...]

Figura 6-40. Proporciones de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para CO [...] año 2011 [...] dos estaciones [...]

Figuras 6-41 a 6-43. [...] Concentraciones promedio anuales de SO2 entre 2011 y 2015 de las estaciones de los SVCA [...]
[...]

Capítulo 7 [...] Análisis del cruce de datos de concentraciones de contaminantes atmosféricos con datos de variables meteorológicas [...] se trata de correlacionar las concentraciones MP con los vientos predominantes [...] [...] Capítulo 8 [...] Se expone un análisis comparativo (con carácter de aproximación inicial) entre las concentraciones de material particulado PM2.5 y PM10 versus número de personas atendidas por Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) para cinco ciudades [...] (desarrollado entre Estudios Ambientales del IDEAM, y Salud Ambiental y Epidemiología y Demografía del MINSALUD). Se estima que los índices de mortalidad diaria aumentan entre 0,2 y 0,6% por cada 10µg/m³ de PM10 (WHO, 2006; Samoli, *et al.*, 2008), mientras que respecto a exposición prolongada a PM2.5 se considera un aumento en los índices de mortalidad cardiopulmonar entre 6-13% por cada 10 µg/m³ de PM2.5 (Krewski, *et al.*, 2009; Pope III, *et al.*, 2002) [...] El análisis comparativo de las tendencias PM2.5 y PM10 versus personas atendidas por IRA sugiere [...] influencia de la contaminación atmosférica en la ocurrencia de efectos adversos a la salud ... Los resultados más evidentes se observaron para las ciudades más pobladas (Bogotá y Medellín).

Complementan los estudios de dos casos: [...] episodio crítico de calidad del aire del Valle de Aburrá y CORPOBOYACÁ. Cita 28 referencias [...]"

Lista de laboratorios ambientales acreditados por el ideam – matriz aire

Desde el 2003 el IDEAM realiza pruebas de evaluación de desempeño con el fin de evidenciar las competencias técnicas de laboratorios, pruebas que constituyen un requisito para acceder a una acreditación o mantenerla. Se debe participar mínimo una vez al año. La prueba de evaluación de desempeño consiste en el análisis de muestras certificadas. En la red, la lista de TODOS los laboratorios ambientales acreditados por el IDEAM, fecha de corte 31 de diciembre de 2016, relaciona doscientos (200) laboratorios (matrices agua, aire, residuos peligrosos, suelo, lodo, aceite de transformador, [...]).

El documento “LISTA DE LABORATORIOS AMBIENTALES ACREDITADOS POR EL IDEAM – MATRIZ AIRE” con fecha de corte 31 de diciembre de 2016 relaciona ochenta y seis (86) laboratorios. La tabla informa sobre los datos básicos de cada unidad (razón social, dirección, teléfono, nombre contacto, [...]) así como la vigencia y el alcance de la acreditación. En este último ítem se anotan las submatrices y algunas características (Calidad de Aire, Emisión por Fuentes Fijas o Estacionarias, Emisión de Ruido y Ruido Ambiental, Estación Móvil, [...]) así como los alcances (toma de muestras, análisis de laboratorio, determinación directa en campo, [...]), las variables y servicios (PST/PM10/PM2.5/SO₂/NO₂/O₃/Hidrocarburos/Compuestos Orgánicos Volátiles/Sulfuro de Hidrógeno/Amoníaco/Azufre Total Reducido/Dióxido de Azufre/Monóxido de Carbono/Compuestos Orgánicos Volátiles COVs/Pesticidas y Bifenilos Policlorados/Haluros de Hidrogeno y Halógenos/Metales/ Dibenzo-p-Dioxinas Policloradas y Dibenzofuranos Policlorados/Compuestos Orgánicos Gaseosos Totales/Fluoruro Total/Velocidad y Flujo Volumétrico de Gases / Contenido de Humedad [...]) y los métodos.

Mejoramiento de IAQ (Indoor Air Quality)

Mejorar IAQ significa —para un volumen de aire considerado— llevar las concentraciones de contaminantes a valores aceptables, esto es por debajo de los mínimos legales obligatorios (o los reglamentados preferidos). En la Tabla 4.3 se mostraron y compararon las mejores normativas y guías que respecto a mínimos aceptables existen. Para disminuir concentraciones están disponibles dos métodos:

- Eliminar contaminantes (es decir, retirarlos físicamente). Dentro de este primer grupo se destaca la filtración mecánica, técnica que si está bien empleada es efectiva con partículas. La filtración consiste en retener en un medio poroso los aerosoles que sea de interés eliminar.

La *Figura 4.5* ilustra sobre distintos dispositivos usados en retención de partículas (muy útil para aplicaciones industriales obligadas a restringir descargas al ambiente, (ver [99])). En las aplicaciones IAQ lo corriente es usar un banco de filtros, que viene clasificado según su valor MERV (Minimum Efficiency Reporting Value, escala diseñada por la American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE) para cuantificar la efectividad de filtros de aire. En este mismo primer grupo, pero para eliminar gases, se pueden emplear “filtros sorbentes”, los cuales utilizan adsorción física o quimisorción, procesos que solo actúan en gases específicos, resultando dispositivos costosos y complejos con limitados usos prácticos. Una guía sobre esta última alternativa es [100]. Estrictamente hablando, también pertenece a este primer grupo la ventilación extractiva: una campana encierra de la mejor manera posible la fuente contaminante, un conjunto ducto-ventilador provee la succión y evacuación necesarias. La ref. [99] es la mejor guía para esta última alternativa.

- Insuflar una cantidad de aire nuevo limpio exterior que baje el valor de la concentración indeseable. Esta práctica, cuyo nombre propio es dilución, en el campo IAQ se conoce como ventilación.

Hay autores que consideran como parte de la calidad del aire otras condiciones aquí no mencionadas: temperatura, humedad, uniformidad de la distribución, presión diferencial entre espacios, etc. Como tales circunstancias son más del ámbito del confort que de la higiene, son tratadas en el capítulo correspondiente.

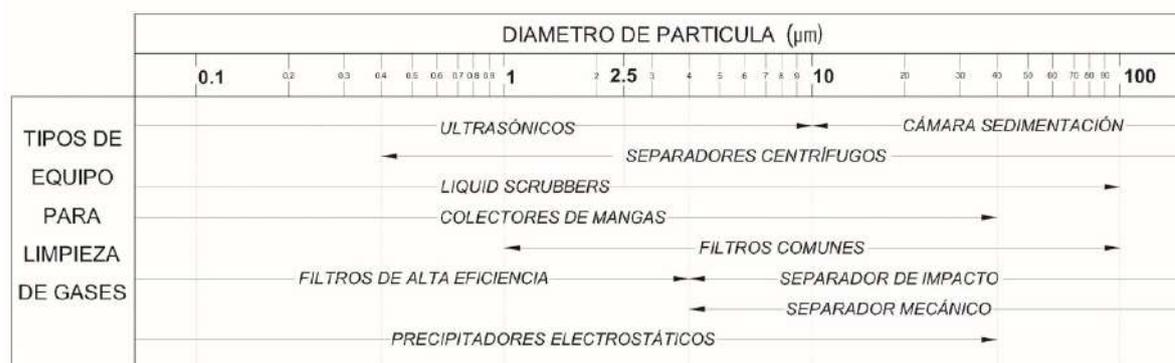


Figura 4.5. Tipos de Equipo para Limpieza de Gases [62].

FILTRACION

En los filtros mecánicos operan cinco mecanismos para captura de partículas: impacto, intercepción, atracción electrostática, difusión, y tamizado. En el primero la partícula por su inercia no rodea la fibra sino que colisiona

con ella, quedando unida; en los tres siguientes (intercepción, atracción electrostática y difusión) la partícula rodea la fibra siguiendo el flujo de aire, pero eventualmente entra en contacto y queda pegada a ella; en el tamizado la partícula es más grande que el espacio entre dos fibras contiguas y queda allí atrapada. Al contrario de la presunción general, este último mecanismo es el menos importante. En la difusión las partículas más pequeñas, al interactuar con las moléculas de aire toman trayectorias algo erráticas (movimiento browniano), lo que aumenta la posibilidad de contactar las fibras. Impacto e intercepción son los mecanismos dominantes en tamaños mayores a $0.2 \mu\text{m}$, y la difusión es dominante en partículas chicas. El efecto combinado de colección resulta en la típica curva que se muestra en la Figura 4.6.

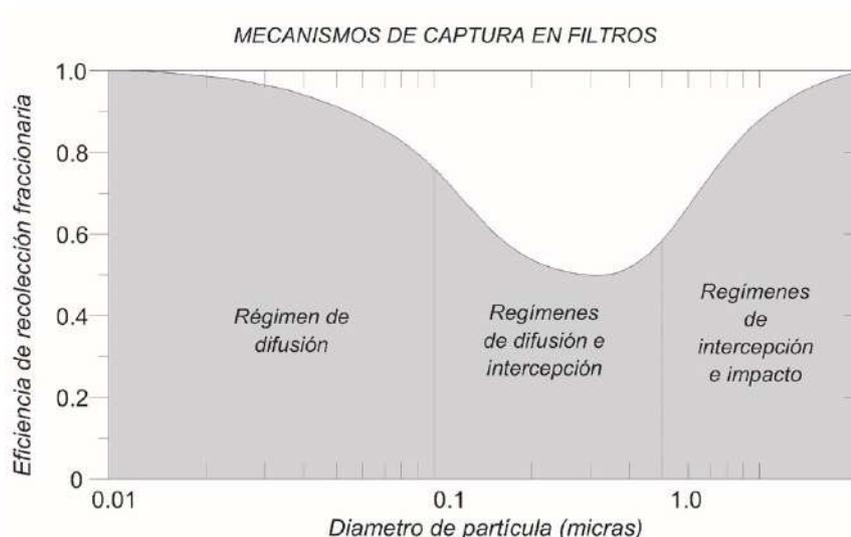


Figura 4.6. Eficiencia en la captura fraccionaria versus tamaño de partícula [100].

En la selección de la clase de filtros a utilizar lo primero que hay que considerar es el tamaño de contaminantes predominantes y el nivel de remoción que se desea; de allí se pasa a considerar la eficiencia de filtración, el flujo de aire a manejar y la caída de presión en el banco (o bancos, si se piensa en una composición). Esto, y las consideraciones de inversión y costos, permiten tomar las decisiones acertadas. La Figura 4.7 ilustra sobre el desempeño de diferentes filtros en términos de remoción de distintas partículas. HEPA significa High Efficiency Particulate Air filters que cumplen eficiencia mínima 99.97% con partículas de 0.3 microns.

La clasificación MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) para filtros, indicativa de la capacidad de retención del filtro, actualizada en el ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2012 [101], es reconocida como la referencia

general actual. Para entender el significado de MERV la NAFA publicó una guía [102] muy compacta, accesible en la red, donde explica el concepto. La clasificación MERV se determina a partir de conteos de partículas antes y después del filtro: seis ciclos de prueba se realizan; en cada uno se calculan eficiencias de captura para cada uno de doce rangos de tamaño de partículas, resultando setenta y dos eficiencias, de las cuales se seleccionan los menores valores de cada rango. Los doce rangos se compactan después en tres grupos (0.3 a 1 μm , 1 a 3 μm , 3 a 10 μm) y se calcula el promedio para cada uno de ellos a partir de las eficiencias menores mencionadas. Con cada uno de esos tres valores resultantes se entra a una tabla denominada “Parámetros MERV” (disponible en [102]), y se anota un MERV resultante; el menor de los tres MERV es la clasificación final del filtro.

La clasificación MERV va desde 1 hasta 16. Mientras más alto el valor MERV más grande el porcentaje de partículas capturada en cada tamaño, mayor la pérdida de presión y más altos costos de inversión, mantenimiento y reposición. La *Tabla 4.12* orienta en la selección de filtro, pero se aconseja asistencia técnica para una apropiada escogencia.

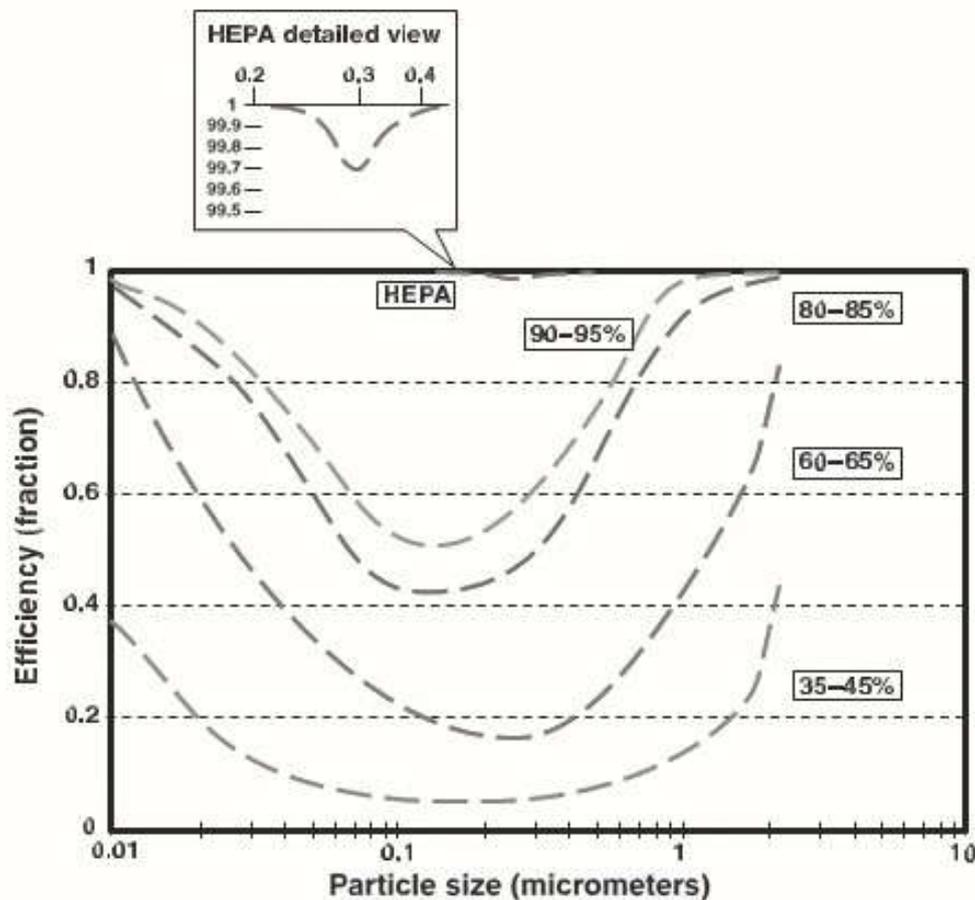


Figura 4.7. Comparación de eficiencia de captura según tamaño de partículas para diferentes filtros [100].

Tabla 4.12. Directriz para Aplicación de los Filtros
Según su Clasificación MERV [153], [154].

MERV Std 52.2	Dust spot* efficiency Std52.1	Average arrestance	Rango de tamaño partícula	Contaminante típico controlado	Aplicación típica
1-4	< 20%	60 a 80%	> 10.0 µm	Polen, ácaros del polvo, detritos de cucaracha, polvo de lijado, aerosol de pinturas, fibras textiles, fibras de alfombra	Aires acondicionados de ventana, mínima protección de equipos
5-8	< 20 a 60%	80 a 95%	10.0-3.0 µm	mohos, esporas, polvo de ácaros deshechos, caspa de perros y gatos, laca en spray, protectores de tejidos, polvos para limpieza, mezcla para pudín	Residencias clase preferente, comercio general, espacios de trabajo industrial
9-12	40 a 85%	>90 a 98%	3.0-1.0 µm	Legionella, niebla de humidificadores, polvo de plomo, harina molida, partículas de emisiones vehiculares	Residencias clase Superior, comercio tipo preferente, laboratorios de hospital
13-16	70 a 98%	> 95 a 99%	1.0 -0.3 µm	Bacteria, núcleos de gotitas (estornudos), aceite cocina, mayoría de humos, polvos insecticidas, polvos faciales y pigmentos de pinturas	hospital & cirugía general
Efficiency			Filtro tipo		
17-20**	99.97 - 99.9999%			HEPA ULPA	Sala limpia (cleanroom) para manufacturas electrónicas, farmacéuticas, biológicas

*Dust spot efficiency Std52.1 removido en 2009 [153]

**ASHRAE no tiene procedimiento oficial para HEPA

VENTILACIÓN

Existe abundante literatura de calidad sobre el tema de ventilación para lograr un aceptable IAQ [99], [62], [103], pero las mejores y más divulgadas directrices están dadas por el ANSI/ASHRAE Standard 62.1 de 2016, [104]. Los textos que siguen presentan en forma compacta esta referencia,

con el propósito de que los ingenieros y arquitectos involucrados en estos proyectos consulten dicho material para su apropiado trabajo. Std. 62 [104] declara que su propósito es “especificar los mínimos caudales de ventilación y demás medidas dirigidas a proveer calidad de aire interior aceptable para ocupantes, con mínimos efectos en su salud”, y advierte que este propósito no se alcanza si no se anulan las fuentes contaminantes internas o si el aire exterior aportado no es adecuadamente limpiado. Añade que “este estándar define requerimientos para el diseño, instalación, interventoría, operación y mantenimiento en sistemas de ventilación y purificación de aire”.

Enmarcados en que la ventilación es una fórmula eficaz y económica de proveer IAQ, se establecen tres condiciones: primera, que si existen fuentes interiores de producción de gases o partículas se deben eliminar o anular previamente; segunda, que el aire nuevo suplementario debe ser aire exterior, exento de gases contaminantes y filtrado antes de incorporarlo al ambiente interior; y tercera, que por razones económicas y de consumo energético se utiliza solo la cantidad de ventilación necesaria.

En edificaciones donde se ha resuelto hacer transferencia de aire entre espacios, o cuando hay recirculación, debe respetarse el criterio de que la descarga nunca se hace a un espacio donde la clase de aire es de mayor jerarquía que de donde sale. Hay cuatro clases de aire según las magnitudes de concentraciones de contaminantes, irritantes sensoriales y olores: clase 1, mínimas; clase 2, moderadas; clase 3 significativas; y clase 4, altamente objetables.

En el capítulo 5, dedicado a “Sistemas y Equipos”, se exponen criterios de diseño sobre distribución y ubicaciones, especificaciones de materiales, protecciones contra lluvia/nieve/intrusiones, cuidados acerca de equipos de combustión y similares, condiciones de humedad y deshumidificadores, drenajes, serpentines e intercambiadores, accesorios como *dampers*, accesos de limpieza y mantenimiento, descargas al exterior, plan para balanceo y manejo adecuado de *plenums*.

El Capítulo 6, “Procedimientos”, presenta los distintos procedimientos válidos para diseño de sistemas de ventilación:

- “Tasa de Ventilación”, procedimiento fundamentado en que los volúmenes de aire exterior se determinan a partir de los tipos de espacio y sus aplicaciones, nivel de ocupación, y área de piso.
- “Procedimiento IAQ”, en el cual los caudales de aire exterior y otros parámetros de diseño se basan en el análisis de las fuentes de contaminación, los límites permisibles de contaminantes y el registro de percepciones de los ocupantes.

- “Procedimiento de Ventilación Natural”, en el cual se proveen aperturas hacia el ambiente exterior, y que normalmente se usa en conjunción con sistemas mecánicos de ventilación o climatización adicionales.
- “Ventilación Extractiva”, complementaria para cualquiera de los tres sistemas anteriores, o una combinación de ellos, se implementa cuando se identifican contaminaciones que puedan o deban ser eliminadas en sus fuentes internas. La Tabla 6.5 especifica las tasas mínimas de extracción a usar en cada caso.

En el marco del primer procedimiento, el caudal de aire exterior necesario requerido en la llamada “zona de respiración” se determina con base en el dato que se obtiene de la Tabla 6.2.2.1 de la referencia en consideración. Nuestra *Tabla 4.13* extrae los principales valores de dicha tabla.

Tabla 4.13. Tasas Mínimas de Ventilación en Zonas de Respiración [104].

Ocupación	Caudal de aire exterior		Valor por defecto		Aire clase #
	l/s por persona	l/s por m ²	Densidad de ocupación # por 100m ²	l/s por persona	
Instalaciones educativas					
Salón de clase	5	0.6	35	6.7	1
Laboratorio de cómputo	5	0.6	25	7.4	1
Auditorio multiuso	3.8	0.3	100	4.1	1
Servicios de comida y bebida					
Comedor	3.8	0.9	70	5.1	2
Barras, salón x coctel	3.8	0.9	100	4.7	2
Cocinas	3.8	0.6	20	7.0	2
Hoteles, resorts, dormitorios					
Cuartos/living room	2.5	0.3	10	5.5	1
Barracas dormitorios	2.5	0.3	10	5.5	1
Edificios de oficinas					
Espacios de oficina	2.5	0.3	5	8.5	1
Recepción	2.5	0.3	30	3.5	1
Espacios misceláneos					
Bancos/lobbies	3.8	0.3	15	6.0	1
Manufactura general	5.0	0.9	7	18	3
Farmacia (preparación)	2.5	0.9	10	11.5	2
Museos/galerías	3.8	0.3	40	4.6	1

Ocupación	Caudal de aire exterior		Valor por defecto		
	l/s por persona	l/s por m2	Densidad de ocupación	l/s por persona	Aire clase #
			# por 100m2		
Ventas al por menor					
Ventas general	3.8	0.6	15	7.8	2
Áreas comunes malls	3.8	0.3	40	4.6	1
Barberías	3.8	0.3	25	5.0	2
Salón de belleza	10	0.6	25	12.4	2
Área mascotas	3.8	0.9	10	12.8	2
Supermercados	3.8	0.3	8	7.6	1
Deportes y entretenimiento					
Gimnasio	10	0.9	7	23	2
Salón de baile	10	0.3	100	10.3	2
Casino, salón de apuestas	3.8	0.9	120	4.6	1
.....					
SON 78 ITEMS					

Los valores por defecto se usan cuando no se conoce la densidad de ocupación

El capítulo 7, “Construcción y Arranque”, se dedica a las rutinas a seguir en lo relativo a filtros, protección de materiales y áreas, pruebas de drenajes y de dampers. La construcción de ductos debe seguir las normas SMACNA 006-2006 HVAC Duct Construction Standards (Metal and Flexible), las SMACNA Fibrous Glass Duct Construction Standards, [105], o las NFPA 90 A y NFPA 90 B, según sea el caso. SMACNA es el acrónimo de Sheet Metal & Air Conditioning contractor’s National Association. El balanceo se hará en concordancia con el ASHRAE standard 111 u otro reconocido.

El capítulo final, “Operación y Mantenimiento”, aconseja desarrollar —bien sea en formato electrónico o en papel— un manual O&M (operación y mantenimiento) que debe ser mantenido en un sitio accesible, que incluya procedimientos O&M, agendas y planos. La Tabla 8.2 sirve como modelo y guía.

Número de Renovaciones. Una forma alterna de establecer el caudal de ventilación a aplicar, la más fácil de todas, pero desde luego la menos técnica, es aplicar al espacio el “número de renovaciones por hora recomendado” por fabricantes o asociaciones técnicas. Gran cantidad de este tipo de tablas está disponible en la red con solo citarlas. El caudal a aplicar es igual al volumen del local multiplicado por el número de renovaciones por hora seleccionado. Como una primera aproximación, se considera aceptable.

Caudal necesario para remover una carga calórica. Cuando se desea refrescar el cuarto con aire ambiente, y se conoce la ganancia calórica total, se puede fácilmente determinar el flujo másico de aire necesario (y por ende el caudal) a través de la ecuación El aumento de temperatura debe definirse previamente, decidiendo cuál valor de temperatura del aire a la salida es admisible. Si el caudal realmente aplicado es menor que el aquí calculado el aire se calentará más de lo deseado y, según la distribución, se tendrán zonas con discomfort.

Síndrome de edificio enfermo

El síndrome del edificio enfermo, SEE (Sick Building Syndrome), fue definido en 1982 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “el conjunto de malestares originados, o estimulados por la contaminación del aire, en espacios cerrados que se producen en al menos un 20% de los ocupantes; un conjunto de síntomas como sequedad e irritación de las vías respiratorias, piel y ojos, dolor de cabeza, fatiga mental, resfriados persistentes e hipersensibilidades inespecíficas, sin que sus causas estén perfectamente definidas”. Es característico que los síntomas desaparezcan al abandonar el edificio. Entre estos malestares también figuran las alergias y los casos de asma. Esta organización estima que uno de cada tres trabajadores puede estar sufriendo las consecuencias del edificio enfermo; un estudio de 1990 en Holanda sostiene que 24% de los empleados que laboraban en él estuvieron ausentes dos días al año por problemas de salud debido a las condiciones de sus oficinas, y que el total de días perdidos había sido de un millón, con un costo de 500 millones de dólares.

Aunque prácticamente existe pleno consenso alrededor de que las indisposiciones sufridas por los ocupantes se originan en la deficiente calidad del aire, ha persistido cierta incertidumbre sobre los orígenes de dicho deterioro, lo que se explica por el hecho que las causas son múltiples y variadas, y porque cada caso puede tener su propia composición. Las pesquisas han establecido que el principal problema de los edificios enfermos es la inadecuada ventilación. Según el National Institute for Occupational Safety, 50% de los edificios enfermos sufre de deficiente ventilación, lo que puede significar insuficiente caudal, baja calidad del aire nuevo y/o filtración deficiente. Pero sin duda otra parte importante del problema radica en la presencia de distintas fuentes de contaminación interior: superficies (paredes, suelos) recubiertas con material textil, materiales y construcciones de baja calidad, materiales sintéticos y plásticos que emiten gases y vapores perjudiciales, ductos que se llenan de bacterias, hongos y mohos. Es evidente que un diagnóstico confiable solo puede emitirse después de una

caracterización de campo llevada a cabo por expertos, quienes serían también responsables de proponer un plan correctivo. Si bien se han mencionado como causas probables mala iluminación, ruido excesivo, discomfort térmico, mobiliario poco ergonómico, etc., es mejor clasificar estas condiciones como colaboración y no como causa.

Cuartos limpios (Cleanrooms)

El Federal Standard 209E [85], describe un cuarto limpio (cleanroom) como “un cuarto donde la concentración de las partículas suspendidas está controlada para cumplir las estrictas condiciones específicas de una determinada clase de limpieza”. Otras fuentes describen un cuarto limpio como un espacio especialmente diseñado para mantener bajos niveles de contaminación y parámetros ambientales estrictamente controlados: partículas en aire, temperatura, humedad, flujo de aire, presión interior del aire, iluminación. Los cuartos limpios se adecúan para delicados procesos de manufactura y requieren garantizar, a través de costosos sistemas, la limpieza, la cantidad y la distribución del aire.

Clasificación de los cuartos limpios (Cleanrooms). Los cuartos limpios son reconocidos por su “tipo” e identificados por su “clase”. El tipo se refiere a la forma de distribución del aire, y hay dos de ellos: el convencional (o no-unidireccional o no-laminar) y el laminar (o unidireccional). En el convencional, por la posición de difusores, el movimiento de aire no está formado por líneas de flujo paralelas y el aire contaminado se mezcla con el limpio, aunque sí se rodea al producto con una atmósfera apropiada. En el laminar el flujo de aire sigue un patrón tipo pistón, de modo que el aire nuevo va desplazando al viejo.

La “clase” del cuarto limpio se relaciona con su nivel de limpieza. La *Tabla 4.14* muestra las especificaciones de limpieza para las distintas clasificaciones (seis americanas, trece métricas, nueve ISO) y su nota adjunta explica los niveles de concentración permitidos para cada tamaño de partícula.

Tabla 4.14. Clasificación de cuartos limpios (Cleanrooms) y equivalencias entre Federal Standard 209E, Sistema Internacional y Sistema International Organization for Standardization (ISO) [85], [106].

Clase			Máximo de partículas /unidad de volumen (a)										
			≥0.1 μm		≥0.2 μm		≥0.3 μm		≥0.5 μm		≥1 μm	≥5 μm	
STD 209E -USA	ISO	SI	m3	ft3	m3	ft3	m3	ft3	m3	ft3	m3	m3	ft3
	ISO1		10 b		d		d		d			e	
	ISO2		100 b		24 b		10 b		d			e	
		M1	350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.283		-	-
Class 1	ISO3		1000		237		102		35 b			e	
		M1.5	1240	35	265	7.5	106	3	35.3	1		-	-
		M2	3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83		-	-
Class 10	ISO4		10000		2370		1020		352		83	e	
		M2.5	12400	350	2650	75	1060	30	353	10		-	-
		M3	35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3		-	-
Class 100	ISO5		100000		23700		10200		3520		832	d,e,f	
		M3.5	-	-	26500	750	10600	300	3530	100		-	-
		M4	-	-	75700	2140	30900	875	10000	283		-	-
Class 1000	ISO6		1000000		237000		102000		35200		8320	293	
		M4.5	-	-	-	-	-	-	35300	1000		247	7
		M5	-	-	-	-	-	-	100000	2830		618	17.5
Class 10000	ISO7								352000		83200	2930	
		M5.5	-	-	-	-	-	-	353000	10000		2470	70
		M6	-	-	-	-	-	-	1000000	28300		6180	175
Class 100000	ISO8												
		M6.5	-	-	-	-	-	-	3530000	100000		24700	700
		M7	-	-	-	-	-	-	10000000	283000		61800	1750
Room air	ISO9								35200000		8320000	293000	

(a): Todas las concentraciones en la tabla son acumulativas. Por ejemplo, para ISO clase 5 las 10200 partículas mostradas en 0.3 μm incluyen todas las partículas iguales o mayores que este tamaño. Los valores son en general válidos para propósitos de clasificación, y no necesariamente representan la exacta distribución a ser hallada.