



**FACULTAD DE MEDICINA HUMANA Y CIENCIAS DE LA
SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

TESIS

**“DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL
AIRE OBTENIDO EN EL PERIMETRO DE LA ESCUELA DE FARMACIA Y
BIOQUIMICA DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS”**

BACHILLER: Peredo Guaman, Rosa María Luz

ASESOR: Q.F. Miranda Paredes, Jean Paul

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A Dios que me ha dado la fortaleza y sabiduría para lograr este primer objetivo en mi vida; a mis, padres y hermanos que son la motivación para alcanzar mis metas. |

AGRADECIMIENTO

Gratamente agradecida a mis asesores y a todas las personas que aportaron sus conocimientos para poder realizar la presente investigación.

RESUMEN

La presente investigación fue planteada por los altos niveles de contaminantes en el medio ambiente por diferentes causas y que además afectan ambientes internos tanto en oficinas como domicilios, la investigación se orientó para poder determinar los niveles de material particulado en el aire que se respira en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas, así mismo se identificó la presencia del material particulado en el aire y compararlos con los Límites Máximos Permisibles de la Organización Mundial de la Salud.

El muestreo del polvo respirable se dio en tres pisos diferentes (primero, tercero y quinto) en tres horarios diferentes (9:00 am, 2:00 pm y 6:00 pm) en el edificio ubicado en la Avenida Perez Aranibar N° 490 del distrito de Magdalena del Mar; para lo cual se utilizaron filtros personales marca AirChek SKC, de una capacidad de 2L/min para la recolección de las muestras.

Para la determinación del material particulado se realizó un proceso gravimétrico en los ambientes del laboratorio CALIDAD Y AMBIENTE S.A.C. siguiendo el manual de métodos analíticos (NIOSH, 1994).

Los valores de material particulado obtenidos en cada punto de muestreo en promedio fueron: del primer piso 0.37 ug/m^3 , del segundo piso 0.23 ug/m^3 y del tercer piso 0.55 ug/m^3 ; que en promedio nos da un valor de 0.38 ug/m^3 quedando demostrado que las concentraciones de material particulado obtenido en el polvo respirable durante el monitoreo realizado en el interior del edificio de la Escuela de Farmacia y Bioquímica estuvieron en su mayoría por encima de los valores de referencia de la Normativa de Criterios de la Calidad de Aire Ambiental de la Organización Mundial de la Salud.

ABSTRACT

This research was posed by high levels of pollutants in the environment for various reasons and also affect internal both offices and homes environments, research was aimed to determine the levels of particulate matter in the air that is breathed in perimeter of the School of Pharmacy and Biochemistry, University Alas Peruanas, likewise the presence of particulate matter in the air was identified and compared with the maximum permissible limits of the World Health Organization.

Respirable dust sampling took place in three different floors (first, third and fifth) at three different times (9:00 am, 2:00 pm and 6:00 pm) in the building located on Avenida Perez Aranibar No. 490 district of Magdalena del Mar ; for which personal brand filters used AirChek SKC , a capacity 2L / min for sample collection .

For the determination of particulate gravimetric QUALITY AND THE ENVIRONMENT process it was conducted in laboratory environments S.A.C. following the manual of analytical methods (NIOSH, 1994).

Particulate values obtained at each sampling point on average were: first floor 0.37 ug / m³, second floor 0.23 ug / m³ and the third floor 0.55 ug / m³; that on average gives us a value of 0.38 ug / m³ being demonstrated that concentrations of particulate matter obtained in the respirable dust during monitoring conducted inside the building of the School of Pharmacy and Biochemistry were mostly above values reference Standards Criteria Ambient Air Quality of the World Health Organization.

INDICE

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice.....	V
Índice de cuadros.....	VI
Índice de gráficos.....	VII
Índice de tablas.....	VIII
Introducción.....	1
Capítulo I: planteamiento del problema.....	4
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	4
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
1.4. Hipótesis.....	5
Hipótesis general.....	5
Hipótesis específica.....	6
1.5. Justificación de la investigación.....	6
1.6. Importancia de la investigación.....	7
Capítulo II: marco teórico.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	9
A. Ing. Mariela Rossana Atala Alvarez coordinadora de calidad atmosférica monitoreo de calidad del aire en las inmediaciones de la planta de cementos lima S.A.C...	9
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	10
A. Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la región de Aysén.....	10
B. Evaluación de la concentración de material particulado suspendido pm10 y su relación con la morbilidad asociados a era`s en niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio de Toluviejo (sucre) - universidad de la Salle facultad de ingeniería ambiental y sanitaria Bogotá, d.c.....	12
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. Contaminación del aire.....	14
A. Contaminación y contaminantes del aire.....	14
B. Calidad de ambiente interior.....	16

C.	Concentración de los contaminantes de interiores.....	18
D.	Calidad del aire en interiores.....	19
E.	La calidad del aire en interiores en los países menos desarrollados.....	24
F.	calidad de ambiente interior.....	29
G.	La atmosfera interior.....	30
H.	Exposición a los contaminantes del aire.....	31
I.	Importancia de la contaminación del aire para la salud.....	32
J.	Concentración de los contaminantes del aire y factores que afectan la sensibilidad.....	32
K.	Factores que afectan la sensibilidad a la contaminación del aire de interiores.....	34
L.	Exposición a los contaminantes del aire.....	38
M.	aspectos fisicoquímicos de la contaminación del aire y unidades usadas.....	40
N.	Gestión de la calidad del aire en interiores.....	47
Ñ.	Edificios saludables para personas sanas.....	52
O.	Aspectos técnicos de la calidad de ambientes.....	53
P.	Eficiencia energética e ieq.....	57
Q.	El riesgo: evidencia científica daños a la salud.....	58
R.	Aire ocupacional.....	62
S.	Contaminación intradomiciliaria.....	62
T.	Contaminantes atmosféricos.....	63
U.	Polvo respirable.....	65
V.	Material particulado (mp).....	66
	Material particulado 10 (mp10).....	75
	Material particulado 2.5 (mp2.5).....	76
	Material Particulado en Suspensión.....	76
	Efectos sobre la salud.....	79
	Enfermedades relacionadas con los edificios.....	79
	Determinación de la calidad de la atmosfera interior.....	81
	Efectos sobre la salud más allá de los edificios.....	84
	La ventilación y su importancia en los ambientes interiores.....	86
W.	Legislación ambiental peruana-calidad ambient.....	89
X.	Plan de prevención y control.....	101
Y.	Legislación.....	134
	Capítulo III: metodología de la investigación.....	139
3.1.	Tipo de investigación.....	139
3.1.1.	Método.....	139
3.1.2.	Técnica.....	139
3.1.3.	Diseño.....	140
3.2.	Población y muestreo de la investigación.....	140
3.2.1.	Población.....	140
3.2.2.	Muestra.....	140
3.3.	Variables e indicadores.....	140
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	141

3.4.1.	Técnicas.....	141
3.4.2.	Recolección de datos.....	142
3.4.3.	Instrumentos.....	142
3.4.4.	Procedimiento.....	144
3.4.4.1.	Muestreo.....	144
3.4.4.2.	Preparación de la muestra.....	145
	Capítulo IV: análisis e interpretación de resultados.....	150
4.1.	Resultados.....	150
	Discusiones.....	156
	Conclusiones.....	161
	Recomendaciones.....	162
	Referencias bibliográficas.....	163
	Anexos.....	168

INDICE DE CUADROS

01	Contaminantes principales y fuentes de contaminación de interiores, agrupados por origen.....	23
02	Concentración de partículas y exposición en los principales microambientes del mundo.....	28
03	Comparación entre partículas finas y gruesa.....	44
04	Contaminantes interiores I.....	55
05	Contaminantes interiores II.....	55
06	Contaminantes interiores III.....	56
07	Síntomas habituales presentes en edificios con problemas de calidad de ambientes interiores....	57
08	Clasificación de los contaminantes del aire interior.....	61
09	Compuestos y sustancias que pueden afectar la salud.....	63
10	Tamaño de las partículas y la penetración pulmonar.....	65
11	Límites máximos permisibles del material particulado.....	72
12	Valores fijados en las directrices de la oms.....	73
13	Estándares nacionales de calidad ambiental del aire.....	100
14	Valores referenciales de mp.....	101
15	Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios (IDA).....	114
16	Categorías de calidad del aire exterior disponible (oda).....	115
17	Clasificación del aire en función del edificio o local.....	116
18	Consideraciones para valores ida en locales.....	118
19	modelo de cuadro de gestión del plan de prevención y control de la calidad del aire interior i.....	122
20	modelo de cuadro de gestión del plan de prevención y control de la calidad del aire interior ii.....	123
21	valores guía OMS de contaminantes ambientales, basado en efectos conocidos para la salud.....	128
22	Valores de límites ambientales de pm 10.....	134
23	Normas en materia de calidad del aire de la environmental protection agency de EE UU.....	136

INDICE DE GRAFICOS

01	Distribución de masa de las partículas en el ambiente.....	41
02	Calidad de ambientes interiores.....	53
03	Calidad de ambientes interiores edificio – sistema.....	58
04	Tasas bajas de ventilación en viviendas incrementan el riesgo de síntomas alérgicos entre niños.....	60
05	Clasificación de las fuentes de material particulado de origen antrópico.....	71
06	Esquema de un sistema de ventilación – climatización..	87
07	Sistema de aire acondicionado.....	103
08	Determinación de la concentración de polvo respirable en aire.....	154

INDICE DE TABLAS

01	Variables e indicadores.....	140
02	Determinación de la masa de polvo respirable muestreado.....	150
03	Resumen de los valores obtenidos en promedio.....	151
04	Determinación del volumen de aire muestreado.....	152
05	Determinación de la concentración de polvo respirable en el aire.....	153
06	Valor promedio de material particulado hallado.....	154
07	Comparación con valores referenciales.....	155

INTRODUCCIÓN

El aire es un recurso natural que, así como sucede con muchos otros, recibe el embate de la contaminación generada por el hombre y también una aportación de la misma naturaleza; esto quiere decir que además del hombre, también la naturaleza contribuye a que tengamos un aire con cierto nivel de contaminantes. (1)

Un medioambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida constituye un derecho fundamental de las personas y la sociedad, reconocido por la Constitución Política del Perú y las normas ambientales vigentes. Numerosos estudios científicos vinculan la contaminación del aire con las enfermedades respiratorias e incluyen, recientemente, a las cardiovasculares, cardíacas y hepáticas. La Organización Mundial de la Salud señala: "La contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo". (2)

El término "calidad del aire interior" se aplica a ambientes de interiores no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos como colegios, lugares de ocio, restaurantes, y viviendas particulares. En los últimos años ha cobrado especial relevancia al asociarse al término "síndrome del edificio enfermo" que comprende un amplio rango de síntomas o enfermedades que las personas que trabajan o habitan en dicho edificio atribuyen al edificio en sí. Es por ello que cuidando la calidad del aire o ambiente interior, se cuida de la salud de las personas que viven o trabajan, en definitiva, que pasan un tiempo considerable en el interior de dicho edificio.

La contaminación de los ambientes interiores de los edificios es la causa de múltiples problemas de salud de variada naturaleza, que pueden abarcar

desde una simple fatiga o molestia, hasta síntomas compatibles con alergias, infecciones y cáncer, entre otras.

Es además uno de los factores de salud ambiental que tiene una mayor contribución a la carga de enfermedad. Según el informe “Medio ambiente y salud” de la Agencia Europea de Medio ambiente, las infecciones agudas del tracto respiratorio inferior atribuibles a la contaminación del aire interior explican el 4.6% de todas las muertes y el 3.1% de AVAD (años de vida ajustados por discapacidad). (4)

Los contaminantes presentes en el aire interior de los edificios, ya sean químicos, físicos o biológicos, varían en función de las actividades que se desarrollan en dichos espacios, el estado sanitario de los ocupantes, la infraestructura física del edificio y sus bienes materiales y la calidad del aire del entorno. (5)

La calidad del aire constituye uno de los temas ambientales que más directamente afectan a la población. Pese a los esfuerzos y a los distintos instrumentos utilizados, el país aún no cumple con los estándares establecidos en las normas de calidad primaria y secundaria vigentes. En este contexto y dada la complejidad del problema, es que se ha visto como una realidad problemática en nuestro país y por ende en un importante tema para poder investigar y poder aportar alguna solución.

El objetivo de esta investigación es describir los impactos asociados al material particulado, la evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores y de la mejora de esta calidad que pueden facilitarse mediante el establecimiento y aplicación de guías o estándares, en forma de conjuntos de valores de referencia, al igual que se hace en relación con la calidad del aire exterior o la del aire de los ambientes laborales.

La Organización Mundial de la Salud finalmente ha llegado a definir el 'Síndrome del Edificio Enfermo' (SEE) o 'Sick Building Syndrome' (SBS). Este síndrome se define como un conjunto de molestias sequedad de piel y mucosas, escozor de ojos, cefalea, astenia, falta de concentración y de rendimiento laboral, enfermedades, que aparecen durante la permanencia en el interior del edificio afectado y desaparecen después de su abandono. Esta circunstancia ha de darse, al menos, en un 20% de los usuarios. Este síndrome se ha establecido como un valor convenido y aceptado universalmente. Por eso se ha de contemplar con rigor en los planteamientos sindicales o de prevención de riesgos, y se deben establecer y exigir planes de prevención o de corrección eficaz.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

A nivel mundial la contaminación es un gran problema a resolver; en nuestro país principalmente en la ciudad de Lima es un gran problema de salud ambiental; es un tema indiscutible que la ciudad se encuentra contaminada por vehículos, fábricas y residuos que emiten contaminantes no permitidos y en cantidades superiores a lo establecido y que no cumplen con los Límites Máximos Permisibles y que esto conlleva a un grave problema de toxicidad ambiental ya que podemos encontrar material particulado, polvo y metales pesados en el aire, éstos al ser inhalados e introducidos a nuestro organismo van a afectar nuestra salud, principalmente los órganos en los que se almacenan es decir en el sistema respiratorio. Los efectos adversos debidos a esa deficiente calidad del aire en espacios cerrados afecta a muchas personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado. Es un problema que se ha visto agravado por la construcción de edificios diseñados para ser más herméticos y que reciclan el aire con una proporción menor de aire fresco procedente del exterior con el fin de aumentar su rentabilidad energética. Actualmente se acepta de forma general que los edificios que carecen de ventilación natural presentan riesgo de exposición a contaminantes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán los niveles de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas?

1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Determinar los niveles de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.

Objetivos Específicos

- Identificar la presencia de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.
- Comparar los niveles encontrados de material particulado en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica con los Límites Máximos Permisibles según los Criterios de la Calidad de Aire Ambiental de la Normativa de la Organización Mundial de la Salud.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Hipótesis General

Los niveles de material particulado en el polvo respirable del aire obtenido del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica son altos al ser comparados con los Límites Máximos Permisibles de Calidad de Aire Ambiental de la Normativa de la Organización Mundial de la Salud.

Hipótesis Específicas

Existiría presencia de material particulado en el polvo respirable del aire capturado del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.

Los valores obtenidos de material particulado en el aire capturado en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica, presentarían niveles mayores a lo establecido por la Normativa de Criterios de Calidad de Aire Ambiental de la Organización Mundial de la Salud.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La contaminación existente en el aire que inhalamos es muy perjudicial para nuestra salud, ya que la presencia del polvo, humo y sobretodo material particulado van a deteriorar notablemente los órganos que conforman nuestro sistema respiratorio, produciendo una contaminación a nivel pulmonar y demás órganos.

Es indispensable que los ciudadanos vivamos en ambientes sanos, limpios y saludables; debemos ser conscientes de los riesgos y los peligros que conlleva convivir con agentes contaminantes que deterioran nuestra salud y de todos los seres vivos existentes en el planeta tanto en el agua, en el suelo y principalmente en el aire.

La conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición en algunos casos, de molestias y síntomas que responden a la definición de una enfermedad es un hecho que ya no puede cuestionarse. La principal responsable es la contaminación de diversos tipos presente en el edificio, que suele denominarse “mala calidad del aire en interiores”. Los efectos adversos debidos a esa deficiente calidad del aire en espacios cerrados afecta a muchas

personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado.

La toxicidad producida por un ambiente contaminado puede darse de manera directa o indirecta, afectando al hombre en su salud y todo nuestro medio ambiente; el principal objeto de una investigación medioambiental es evaluar objetivamente los riesgos resultantes de la presencia de sustancias que alteran la normal composición del punto evaluado, además la norma establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

1.6. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Lo que se desea realizar en la siguiente investigación no es solamente evidenciar la presencia de material particulado y polvo en el aire, es además dejar la evidencia de que a pesar de este serio problema en la salud que pertenece a la Toxicología Medioambiental, podemos observar y plantear soluciones que nos permita mejorar nuestra cultura ecologista, disminuir contaminantes y enfocar futuros trabajos de investigación en planes de restauración ambiental para daños ya producidos.

Desafortunadamente con frecuencia se difunden en los medios de comunicación masiva los problemas ambientales en forma poco relevante o solamente con mediana importancia, desacreditando las preocupaciones y esfuerzos legítimos de la comunidad y es necesario que los actores sociales, incluyendo las autoridades, dispongan de métodos para poder actuar en forma responsable al tratar esta

importante problemática. Si bien, se puede encontrar abundante información sobre los peligros que corre el hombre al vivir en un medio deteriorado por la contaminación, muchas veces además de no estar reunida tal información, esta se dirige solamente a especialistas en toxicología y a profesionales en otras ramas de las ciencias de la salud.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES

A. Ing. MARIELLA ROSSANA ATALA ALVAREZ Coordinadora de Calidad Atmosférica.

MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS INMEDIACIONES DE LA PLANTA DE CEMENTOS LIMA S.A.A EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO. MAYO 2014.

RESUMEN

Para el monitoreo de calidad del aire se utilizaron 02 muestreadores de alto volumen para material particulado menor a 10 micras (PM 10); 02 para material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5) y una estación meteorológica. La descripción y ubicación de los puntos de monitoreo fueron en la azotea de la vivienda ubicada en la Av. 26 de Noviembre N° 2584 (antigua Av. Lima) Urbanización Virgen de Lourdes y en la zotea de la vivienda ubicada en el Jr. Áncash N°388 - Plaza de Armas de la zona de José Gálvez (Parque Atocongo). Para el monitoreo de calidad del aire se utilizaron muestreadores de alto volumen para material particulado PM10 y PM2.5, el método experimental el de Análisis por Separación inercial y filtración (gravimetría).

Los resultados fueron que las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM10), obtenidas durante el período de monitoreo; cuyos valores no superaron el estándar nacional ambiental de aire para este parámetro (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas), siendo el valor más elevado fue de 133.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor más bajo fue de 66.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones de material particulado menor a PM2.5 obtenidas durante el período de

monitoreo, cuyos valores superan el estándar nacional ambiental de aire para este parámetro (50 µg/m³ para 24 horas); las concentraciones de material particulado menor a 10 micras PM10, obtenidas durante el período de monitoreo; cuyos valores no superan el estándar nacional ambiental de aire para este parámetro de aire (150 µg/m³ para 24 horas), siendo el valor más elevado fue de 94.16 µg/m³ y el valor más bajo fue de 26.86 µg/m³, las concentraciones de material particulado menor a PM2.5 obtenidas durante el período de monitoreo (del 20 al 24 de diciembre de 2013), cuyos valores no superan el estándar nacional ambiental de aire (50 µg/m³ para 24 horas), siendo el valor más elevado fue de 38.67 µg/m³ (21/12/2013) y el valor más bajo fue de 18.97 µg/m³ (22/12/2013). Concluyendo que las concentraciones de Material Particulado menor a 10 micras, no supera el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (150 µg/m³ para 24 horas) en los dos puntos de monitoreo CA-VM-01 y CA-VM-02; Las concentraciones de Material Particulado menor a PM2.5 obtenidas durante el periodo de monitoreo realizado del 20 al 24 de diciembre de 2013 en el punto Virgen de Lourdes (CA-VM-01) superan el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (50 µg/m³ para 24 horas) los días 20, 21, 22 y 23 de diciembre con 81.10 µg/m³, 58.84 µg/m³, 70.65 µg/m³ y 60.28 µg/m³ respectivamente.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A. ESTUDIO SOLICITADO POR LA SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DE AYSÉN 2015, QUE DICTUC S.A. DESARROLLÓ PARA EL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE, REGIÓN DE AYSÉN

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DE LAS VIVIENDAS BENEFICIADAS DEL RECAMBIO EN LA REGIÓN DE AYSÉN.

RESUMEN

El objetivo general del estudio fue generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Para cumplir con este objetivo, se analizó la calidad del aire interior mediante la medición de Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado Fino (MP2.5), temperatura y humedad en los hogares, además de consumos de leña antes y después del recambio, bajo condiciones de uso normal de los calefactores, a partir de la utilización de equipos recambiados el año 2014. A modo de proteger la identidad de las personas que participaron de esta experiencia piloto, las casas seleccionadas se denominan "Vivienda N° 1" (ubicada en Coyhaique), "Vivienda N° 2" (también ubicada en Coyhaique) y "Vivienda N° 3" (ubicada en Puerto Aysén). Los resultados obtenidos, luego de realizada la caracterización térmica general de cada casa, son que las Viviendas 1 y 3 cuentan con una adecuada aislación térmica en sus muros, existiendo algunos puentes térmicos en las uniones del siding exterior debido a que éstas no son herméticas y, por ende, puede pasar aire a través de ellas. En estas dos viviendas se encontró que el piso no cuenta con aislación, presentándose flujos de energía hacia el exterior. Por su parte, la Vivienda 2 no cuenta con una adecuada aislación térmica, siendo ésta la con menor calidad constructiva entre las tres. Con respecto a la eficiencia térmica del recambio, se obtiene que la Vivienda 3 ha alcanzado un porcentaje de mejora del 50,6% tras el recambio, es decir un consumo de la mitad de leña para obtener la misma diferencia de temperatura con el exterior. Por otra parte, las Viviendas 1 y 2 aumentaron su porcentaje de eficiencia en 13,6 y 6%, respectivamente. En cuanto al análisis económico, el modelo desarrollado indica que el estatus del calefactor tiene dos efectos: 1. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 1,34 [kg/día] de leña adicional al calefactor nuevo (o bien, el calefactor nuevo ahorra 1,34 [kg/día] de leña). 2. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 0,48 [kg/día] de leña para aumentar la temperatura interior en 1 grado Celsius adicional al calefactor nuevo.

Para el material particulado, en general la concentración de CO al interior de las viviendas suele ser inferior a los límites recomendados, con lo cual se espera que tanto antes como después del recambio su medición no sea relevante. Es por esto, que de manera adicional se incorporó el monitoreo de MP 2,5. Mediante el uso del instrumento Monitor de MP 2,5 Dyllos DC1700 se registra la cantidad de partículas MP 2,5 presentes en el interior de las viviendas. Este monitor corresponde a un contador de partículas laser marca Dyllos.

En el caso de la vivienda de Puerto Aysén Adicionalmente, se instaló un sensor de MP 2,5 en el interior de una de las viviendas de Coyhaique y en la de Puerto Aysén.

B. Investigación realizada por KAREN ANETH MIRANDA ROMERO LUZ ADRIANA ORTIZ FLOREZ titulado:

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SUSPENDIDO PM10 Y SU RELACIÓN CON LA MORBILIDAD ASOCIADOS A ERA`S EN NIÑOS MENORES A CATORCE AÑOS POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA AGUDA EN EL MUNICIPIO DE TOLUVIEJO (SUCRE) - UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA BOGOTÁ, D.C. 2008

RESUMEN

En la investigación se analizó la relación entre la concentración de material particulado (PM10) y la morbilidad en niños menores de 14 años por enfermedades respiratorias agudas en el municipio de Toluvejo (SUCRE), dentro de los meses de Noviembre a Diciembre de 2007 utilizando un modelo lineal generalizado (Regresión de Poisson), de igual forma se estableció la influencia de los factores meteorológicos (temperatura, precipitación, vientos) en las concentraciones de material particulado (PM10) por medio de una regresión lineal múltiple.

Se realizó el inventario de las emisiones de fuentes móviles y fijas del municipio de Toluviejo, seleccionando las industrias ubicadas en el área de influencia de cada una de las estaciones de muestreo y se determinaron los factores de riesgo intradomiciliarios que inciden en la calidad de aire del municipio de Toluviejo.

Para el muestreo diario de la concentración de PM10, se seleccionaron los sitios de monitoreo, uno de ellos ubicado en la escuela Santa Rosa de Lima y el otro en la Alcaldía del municipio de Toluviejo, los cuales nos permitieron determinar las respectivas concentraciones; teniendo en cuenta las características y técnicas de seguridad, para que los datos que se fueran a obtener sean representativos y confiables, de igual forma buscando preservar el estado y la seguridad de los equipos.

Se utilizaron dos equipos Hi-Vol, los cuales fueron suministrados por la Corporación autónoma regional de Sucre (CARSUCRE). La información de consultas por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) se obtuvo del Departamento Administrativo de Salud de Salud (DASSALUD), el cual maneja los Registros Individuales de Procedimientos en Salud (RIPS) de los tres centros de salud del municipio de Toluviejo: Episalud, Tolusalud y San José de Toluviejo.

Por último, se elaboró un mapa de riesgo de la población susceptible afectada por las concentraciones de PM10 teniendo en cuenta la procedencia de los vientos, ubicación de los niños menores de 14 años enfermos por ERA y la localización de las industrias que hacen parte del municipio de Toluviejo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

A. CONTAMINACIÓN Y CONTAMINANTES DEL AIRE

El aire es un recurso natural que, así como sucede con muchos otros, recibe el embate de la contaminación generada por el hombre y también una aportación de la misma naturaleza. Esto quiere decir que además del hombre, también la naturaleza contribuye a que tengamos un aire con cierto nivel de contaminantes. Importante resulta aclarar que la responsabilidad de los problemas actuales de contaminación atmosférica no está equitativamente distribuida entre los referidos generadores ya que la concentración poblacional en las ciudades es causa de múltiples problemas evidentes en este vital elemento.

El aire en la atmósfera está compuesto natural y originalmente por diversos gases entre los cuales el nitrógeno (78%) es el predominante, siguiéndole el oxígeno (21%) y completándose con cantidades sumamente reducidas de otros gases tales como argón (0.9%), dióxido de carbono (0.03%) y otros. Además de estos gases, de manera natural, el aire también contiene diversas partículas características propias del sitio en que se encuentre un ambiente determinado y de la época anual. (11)

La contaminación del aire debido a contaminantes dañinos en la atmósfera es un problema antiguo y entendido. El alcance de la contaminación atmosférica varía enormemente. Puede ocurrir en una escala muy pequeña en forma de contaminación del aire en interiores. Un ejemplo de esta contaminación es la causada por las cocinas alimentadas con leña o madera y pobremente ventiladas. En las viviendas sencillas que se encuentran en áreas rurales o en amplias regiones de Asia o África. La contaminación atmosférica puede ser local, como es el caso con una sola fábrica contaminante o grupos de fábricas en una ciudad. La contaminación atmosférica regional, ocurre en una escala de hasta varios cientos de kilómetros cuadrados, como el neblumo o smog

fotoquímico que aflige la gran área metropolitana de la Ciudad de México y Molina, 2002.

En el entorno de las ciudades y asentamientos humanos el aire atmosférico registra aportes de sustancias generadas por las actividades predominantes. Así se tendrán atmósferas cargadas de aromas, de colores, sabores totalmente vinculados con las materias primas, procesos y productos manejados en un sitio particular. Hay elementos que pueden estar presentes frente a los cuales los sentidos humanos no pueden ayudar a su identificación. Ciertos elementos en el aire tienen una influencia nociva, en estos casos su identidad, análisis y medición se vuelve un factor importante para la salud. (11)

Los contaminantes atmosféricos que causan el deterioro de la atmósfera consisten en una gran variedad de gases, vapores y partículas. Algunos de los contaminantes más comunes del aire, consisten en gases inorgánicos, especialmente óxidos de nitrógeno, azufre y carbono. Vapores orgánicos de varios tipos, constituyen una clase importante de contaminantes atmosféricos, como por ejemplo los responsables del neblumo o smog fotoquímico. Las partículas atmosféricas emitidas directamente a la atmósfera o formadas por procesos químicos atmosféricos causan importantes problemas de contaminación. Además de gases y vapores, los contaminantes atmosféricos pueden consistir en partículas.

La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz. Además, la presencia del material particulado está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos. (2)

Es necesario, además de realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo,

asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control y realizar seguimiento por parte de las autoridades ambientales interesadas. (8)

B. CONTAMINACIÓN DEL AIRE INTERIOR

En los países desarrollados, la contaminación del aire interior no es tan severa como pueda ser en los países en vías de desarrollo, (debido al escaso uso de combustibles fósiles en las viviendas); sin embargo, la evidencia sugiere que contribuye significativamente al riesgo de efectos adversos sobre la salud respiratoria en niños (11).

Debido a que los factores ambientales constituyen un complejo entramado que interactúa y afectan de forma simultánea y sinérgica sobre la salud, es difícil estimar claramente y por separado la carga de enfermedad debida exclusivamente a contaminación del aire interior.

En países en vías de desarrollo sí se ha estimado la carga de enfermedad debida al extendido uso de combustibles fósiles en los hogares, pero dado el complejo ambiente interior en los países desarrollados, donde dicho tipo de combustibles no se suelen usar pero a cambio se han introducido gran variedad de sustancias químicas, productos de uso doméstico, plaguicidas, ambientadores, limpiadores, además del humo de tabaco y las emisiones del mobiliario y productos usados en la construcción, dichas estimaciones son escasas.

Debe tenerse en cuenta también que la falta de controles de los riesgos que conlleva la exposición a aire interior contaminado tiene grandes consecuencias económicas, tanto en el gasto público sanitario, como en días de trabajo perdidos y costes personales para los individuos.

Por ello, cualquier inversión en desarrollo cuyo objetivo sea la mejora de la salud y el bienestar humanos mediante ambientes interiores más sanos

no deberían considerarse como un obstáculo sino que debería compararse con los beneficios que proporciona. (3)

Además, debido a que la exposición a contaminantes del ambiente interior supone un riesgo para la salud pública, tanto los efectos adversos sobre la salud como los niveles de exposición merecen la atención de políticas públicas, ya que los costes para la sociedad asociados con enfermedades relacionadas con los ambientes interiores son considerables.

Los estándares actuales de ventilación no tienen en cuenta la productividad y el aprendizaje (en oficinas y escuelas) y su requerimiento es bastante modesto, ya que se basan en que el aire interior debe ser “aceptable”, esto es, que el grupo más sensible de personas (usualmente el 20%) lo perciban como inaceptable mientras que para el resto sea meramente aceptable.

Por este motivo no es extraño que haya estudios que muestren altos porcentajes de personas molestas y que padecen los síntomas del síndrome del edificio enfermo. Estudios recientes muestran que la mejora de la calidad del aire interior en un factor de 2 a 7 comparado con los estándares existentes, incrementa la productividad en oficinas y el aprendizaje en colegios de forma significativa, mientras que disminuye el riesgo de síntomas alérgicos y asma en hogares.

Los efectos de la contaminación del aire en interiores han recibido mayor atención en los últimos años porque es allí donde las personas pasan casi 90 % de su tiempo, diversos estudios han indicado que la exposición a algunos contaminantes puede ser dos a cinco veces mayor en interiores que al aire libre.

C. CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE INTERIORES

La concentración de los contaminantes de interiores depende de los niveles de contaminantes en exteriores, de las fuentes en interiores, de la tasa de intercambio entre el aire interior y exterior y de las características y mobiliario de los edificios. Las concentraciones de los contaminantes en interiores están sujetas a las variaciones geográficas, estacionales y diurnas.

Por ejemplo, en los países desarrollados los niveles de NO₂ en interiores provienen de estufas a gas y de la cocina (usadas en 20%-80% de las casas en algunos países). Estos valores se pueden duplicar en habitaciones ubicadas frente a calles muy transitadas por vehículos automotores. Estos niveles de exposición pueden tener efectos en la función respiratoria.

Además, las mediciones de corto plazo muestran concentraciones de NO₂ que pueden ser cinco veces mayores que las medidas durante varios días.

También se registraron valores altos en bares y pubs, donde generalmente se fuma, con concentraciones promedio de 10 a 20 mg/m³ y niveles pico de hasta 30 mg/m³.

La exposición al humo del tabaco en el ambiente es un factor importante para evaluar la calidad del aire en interiores. Las partículas y las fases de vapor del humo del tabaco en el ambiente son mezclas complejas de miles de sustancias químicas, incluidos los carcinógenos conocidos como nitrosaminas y benceno. Uno de los indicadores más comúnmente usados de contaminación ambiental por humo del tabaco es la concentración de MP₁₀. Esta llega a ser de 2 a 3 veces mayor en las viviendas donde hay fumadores que en otras casas. En estas viviendas, la nicotina está presente en la fase de vapor con concentraciones de hasta 10 µg/m³. Los datos de nueve países europeos revelaron que en una proporción de

33% a 66% de las viviendas había al menos un fumador. La proporción de niños cuyas madres fuman en el hogar variaba entre 20% y 50% y la de niños cuyos padres fuman en el hogar fluctuaba entre 41% y 57%. Por lo tanto, el humo del tabaco —principalmente cuando los niños están expuestos a él— constituye uno de los principales problemas de calidad del aire en interiores y de salud ambiental. (12)

D. CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES

La mayoría de las personas pasa gran parte de su tiempo en interiores, lo que hace de estos espacios microambientes importantes al abordar los riesgos de la contaminación del aire. La mayor parte de la exposición diaria de una persona a muchos de los contaminantes del aire proviene de la inhalación del aire en interiores, tanto por la cantidad de tiempo que se pasa en estos ambientes como por los mayores niveles de contaminación que hay en ellos. La calidad del aire en interiores depende de varios factores. Como un esfuerzo por conservar la energía, el diseño de los edificios modernos ha favorecido estructuras más estrechas con menores tasas de ventilación. En algunos lugares del mundo solo se usa ventilación natural, mientras en otros es más común la ventilación mecánica. Los factores que pueden tener un efecto negativo en la salud y en la comodidad de los ocupantes de las construcciones incluyen desde los contaminantes químicos y biológicos hasta la percepción de los ocupantes acerca de estresores específicos como la temperatura, la humedad, la luz artificial, el ruido y la vibración.

A pesar de que se tiende a usar tipos similares de construcción en todo el mundo, principalmente para los edificios administrativos, los problemas en interiores en los países desarrollados y en los países menos desarrollados generalmente son diferentes.

Mientras que en los países desarrollados, la mayoría de problemas se debe a las bajas tasas de ventilación en los edificios y a la presencia de productos y materiales que emiten una gran variedad de compuestos, en

las naciones menos desarrolladas se afrontan problemas relacionados con los contaminantes generados por actividades humanas, principalmente por procesos de combustión.

Si se consideran de manera exclusiva los efectos de salud de la contaminación del aire, no importa si el contaminante se inhala en exteriores o en interiores. Sin embargo, existen diferencias importantes en la composición de los contaminantes en interiores y exteriores. Las emisiones generadas por el tráfico son un ejemplo de contaminación en exteriores. En interiores, las fuentes de contaminación incluyen el humo del tabaco y los productos de la combustión de biomasa.

Los contaminantes del aire generalmente se clasifican en partículas en suspensión (polvos, gases, neblinas y humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores.

Material particulado (MPS), las partículas suspendidas en el aire incluyen partículas totales en suspensión (PTS), MP10 (MPS con diámetro aerodinámico mediano menor de 10 μm), MP2,5 (MPS con diámetro aerodinámico mediano inferior a 2,5 μm), partículas finas y ultrafinas, escape de diesel, ceniza del carbón, polvos minerales (por ejemplo, carbón, asbesto, piedra caliza, cemento), polvos metálicos y humos (por ejemplo, cinc, cobre,

hierro, plomo), neblinas ácidas (por ejemplo, ácido sulfúrico), partículas de fluoruro, pigmentos de pintura, partículas de plaguicidas, carbón negro, humo de petróleo, etcétera.

Los contaminantes de las partículas suspendidas provocan enfermedades respiratorias y pueden causar cáncer, corrosión, destrucción de la vida vegetal, etcétera. También pueden generar molestias (por ejemplo, acumulación de suciedad), interferir con la luz solar (por ejemplo, difusión de la luz por smog y neblina) y actuar como superficies catalíticas para la reacción de productos químicos adsorbidos.

Contaminantes gaseosos, incluyen compuestos de azufre (por ejemplo, dióxido de azufre [SO₂] y trióxido de azufre [SO₃]), monóxido de carbono [CO], compuestos de nitrógeno (por ejemplo, óxido nítrico [NO], dióxido de nitrógeno [NO₂], amoníaco [NH₃]), compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos [HC], compuestos orgánicos volátiles [COV], hidrocarburos aromáticos policíclicos [HAP], derivados halogénicos, aldehídos, etcétera), compuestos halogénicos (HF y HCl) y sustancias olorosas.

Los contaminantes secundarios se pueden formar a través de reacciones térmicas, químicas o fotoquímicas. Por ejemplo, por la acción térmica, el SO₂ se puede oxidar a SO₃, el cual, disuelto en agua, da lugar a la formación de la neblina ácida sulfúrica (catalizada por manganeso y óxidos de hierro). Las reacciones fotoquímicas entre el NO_x y los hidrocarburos reactivos pueden generar ozono (O₃), formaldehído (HCHO) y peroxi-acetil-nitrato (PAN) y las reacciones entre HCl y HCHO pueden formar éter diclorometílico.

Olores, si bien se sabe que algunos olores son provocados por agentes químicos específicos, como el sulfuro de hidrógeno (H₂ S), el disulfuro de carbono (CS₂) y los mercaptanos (R-SH, R₁ S R₂), otros son difíciles de definir químicamente.

Un inventario de concentraciones contaminantes del aire resume los resultados del monitoreo de estos contaminantes. Los datos se expresan en función de los promedios anuales, percentiles y tendencias de los parámetros medidos. En la mayoría de los países desarrollados, los compuestos medidos para tal inventario incluyen SO₂, óxidos de nitrógeno (NO_x), MPS, CO, O₃, metales pesados, HAP y COV. En los países en desarrollo generalmente se monitorean los compuestos "clásicos": SO₂, NO_x, MPS, CO, O₃ y plomo.

Las tendencias en la exposición a la contaminación del aire generalmente se muestran como medias anuales aritméticas o geométricas y como

mediciones estadísticas de exposición en el corto plazo; por ejemplo, percentiles altos o valores máximos o segundos valores más altos de una muestra. La visión general sobre los compuestos “clásicos” considerada en esta publicación es que las concentraciones de SO₂ y de MPS están disminuyendo en los países desarrollados mientras que las concentraciones de NO_x y O₃ son constantes o están en aumento (OMS, 1992). En muchos países en transición y en desarrollo, las concentraciones de SO₂ y MPS están aumentando debido al incremento de la combustión, tal como lo están haciendo el NO_x y el O₃ provenientes de los vehículos motorizados y de las emisiones de COV generadas por fuentes industriales como precursores de O₃. (12)

CUADRO N° 01: CONTAMINANTES PRINCIPALES Y FUENTES DE CONTAMINACION DE INTERIORES, AGRUPADOS POR ORIGEN

Contaminantes principales	Fuentes predominantes en exteriores
SO ₂ , MPS/PSR	Combustibles, fundidores
O ₃	Reacciones fotoquímicas
Polen	Árboles, césped, maleza, plantas
Pb, Mn	Automóviles
Pb, Cd	Emisiones industriales
COV, PAH	Solventes petroquímicos, vaporización de combustibles no quemados
Contaminantes principales	Fuentes de interiores y de exteriores
NO _x , CO	Quema de combustibles
CO ₂	Quema de combustibles, actividad metabólica
MPS y PSR	Humo del tabaco en el ambiente, resuspensión, condensación de vapores y productos de combustión
Vapor de agua	Actividad biológica, combustión y evaporación
COV	Volatilización, quema de combustibles, pintura, acción metabólica, plaguicidas, insecticidas, fungicidas
Esporas	Hongos, moho
Contaminantes principales	Fuentes predominantes en interiores
Radón	Suelo, materiales de construcción, agua
HCHO	Materiales aislantes, mobiliario, humo ambiental del tabaco
Asbesto	Productos retardantes de incendios, materiales aislantes
NH ₃	Productos de limpieza, actividad metabólica
PAH, arsénico, nicotina, acroleína	Humo del tabaco en el ambiente
COV	Adhesivos, solventes, productos para cocinar, cosméticos
Mercurio	Fungicidas, pinturas, derrames o ruptura de contenedores
Aerosoles	Productos de consumo, polvo doméstico
Alergenos	Polvo doméstico, caspa animal
Organismos viables	Infecciones

FUENTE: OMS 1995.

El cuadro resume las fuentes de contaminación del aire en interiores y los contaminantes principales, agrupados de acuerdo con su origen: interiores o exteriores. Esta lista no incluye todas las fuentes de contaminantes de interiores, ya que existe un continuo intercambio de aire entre interiores y exteriores y la mayoría de los contaminantes presentes en exteriores también se encuentran en interiores. Además, las fuentes de interiores

pueden causar la acumulación de algunos compuestos que rara vez están presentes en el aire ambiental. Los compuestos más importantes en interiores incluyen MPS, SO₂, NO, CO, oxidantes fotoquímicos y plomo.

En los países desarrollados las concentraciones contaminantes en interiores son similares a las de exteriores, con una razón de concentración de interiores a exteriores en el rango de 0,7 a 1,3. Las concentraciones de los productos de combustión en interiores pueden ser significativamente mayores que las de exteriores cuando se usan dispositivos para calentar y cocinar. Este escenario es común en países en desarrollo, donde se usan hornos y braseros en cocinas y estufas cuyos diseños tienen imperfecciones.

E. LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES EN LOS PAÍSES MENOS DESARROLLADOS

La calidad del aire en los edificios de los países en desarrollo puede tener problemas similares a los encontrados en los países desarrollados, principalmente en las áreas urbanas modernas y amplias. Ya que en los países en desarrollo aumentan las tasas de tabaquismo, es previsible que también se incremente la exposición al humo del tabaco en el ambiente. Además, el uso de algunos materiales peligrosos, particularmente los plaguicidas, está siendo tan común en los países en desarrollo que debe de haber mayor exposición en interiores que en los países desarrollados.

Es probable que en los países en desarrollo haya exposiciones significativas y generalizadas en los ambientes interiores a muchos de los contaminantes clásicos del aire, principalmente el dióxido de azufre, el material particulado, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno. Un aspecto importante en los países en desarrollo es la exposición a las emisiones provenientes de la cocina y la calefacción, lo cual puede producir las exposiciones más altas a muchos contaminantes. Actualmente, casi la mitad de la población mundial sigue confiando en simples aparatos domésticos que usan combustibles sólidos no

procesados para la cocina y la calefacción asociada a esta. Dichos combustibles tienen altos factores de emisión de una serie de contaminantes del aire que perjudican la salud. Esta sección resume brevemente los conocimientos adquiridos sobre las emisiones, las exposiciones y los efectos en la salud.

Se dispone de poca información sobre las tasas de ventilación de los diferentes tipos de viviendas que hay en los países en desarrollo o en transición. Lamentablemente, se han realizado pocos monitoreos en ambientes interiores de estos países y ninguno de ellos ha permitido suministrar muestras estadísticamente válidas de poblaciones grandes. No obstante, los resultados obtenidos son sorprendentes. Otros contaminantes clásicos también alcanzan niveles significativos en estas circunstancias. Asimismo, se ha encontrado que contaminantes no clásicos importantes, como el formaldehído, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, el benceno y el 1,3-butadieno, alcanzan niveles mucho más altos que en el resto de ambientes, salvo el ocupacional, en países en desarrollo.

La exposición de las poblaciones a un contaminante del aire se define como la simple combinación de la concentración del contaminante en el aire que se inhala, el tiempo durante el cual este se inhala y el número de personas expuestas. Dado que en la mitad de las viviendas del mundo se usan combustibles sólidos diariamente y las actividades como la cocina generan la mayoría de las emisiones en interiores, hay una confluencia de emisiones, personas y tiempo en lugares que pueden tener poca ventilación. Por consiguiente, hay altos niveles de exposición en interiores a emisiones provenientes de combustibles sólidos. Estas exposiciones altas se derivaron de los datos sobre las concentraciones de exposición personal experimentadas en algunas mujeres mientras cocinaban en cocinas con combustibles.

Contaminantes gaseosos clásicos

El humo de los combustibles sólidos en interiores puede contener todos los contaminantes gaseosos clásicos, excepto el ozono. Estos pueden constituir un problema de salud en las viviendas con ventilación deficiente. Si bien ha habido relativamente pocas mediciones de contaminantes gaseosos en países en desarrollo, los estimados de las emisiones de la quema de combustibles sólidos sugieren que los niveles que exceden las guías de calidad del aire pueden ser generalizados en los países en desarrollo (OMS, 1992c; OMS, 1997a).

Material particulado

Las guías de calidad del aire de la OMS, y la mayoría de las otras guías referentes al material particulado, no especifican la composición química de las partículas. No obstante, los efectos en la salud pueden variar según las diferencias en la composición de las partículas. La mayoría de los estudios epidemiológicos usados para obtener las guías de calidad del aire para el material particulado se realizaron en ciudades donde predominaba el material particulado de combustibles fósiles y donde había incluso contribuciones significativas de quema de carbón, en algunos casos, en las viviendas. Por lo tanto, al considerar los efectos de las emisiones de la quema de combustibles sólidos en la salud, es importante tomar en cuenta la composición química del material particulado en interiores.

Las concentraciones muy altas de partículas en el aire en interiores pueden ocurrir, algunas veces por una corta duración, por ejemplo, mientras se cocina en aparatos que funcionan con combustibles sólidos en habitaciones con poca ventilación. Como se señaló se debe tener extremo cuidado al realizar extrapolaciones de la pendiente de los impactos en la salud de las guías de calidad del aire para el material particulado en un nivel mayor de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10, ya que puede

haber un aplanamiento de la pendiente exposición - respuesta en concentraciones mayores de exposición.

Si bien se han realizado algunos estudios epidemiológicos sobre la contaminación del aire por partículas en ciudades con emisiones significativas de humo de madera durante algunas estaciones, no se dispone de información suficiente para determinar si la nueva guía de calidad del aire para el material particulado se puede aplicar al humo de la biomasa. Muchos investigadores piensan que la composición química del humo de la biomasa fresca en fuego abierto es demasiado diferente del material particulado viejo sobre el cual se ha basado la mayoría de los estudios epidemiológicos como para hacer una extrapolación sustentada en el conocimiento actual sobre el tema.

En esta etapa, no se puede aseverar si el material particulado de la biomasa es menos o más insalubre que la misma concentración de material particulado urbano en exteriores. No obstante, es posible afirmar que ambos pueden inducir a una respuesta diferente debido a que tienen distinta composición. Por lo tanto, a pesar de que la literatura existente sobre epidemiología establece claramente la ocurrencia de efectos adversos, no se pueden formular afirmaciones sobre las relaciones de exposición-respuesta. El humo de tabaco es un humo de biomasa fresca que ha sido estudiado mucho más que ningún otro contaminante. En forma de humo de tabaco en el ambiente, está asociado con los impactos adversos a la salud en adultos y niños en concentraciones de partículas similares a aquellas concentraciones de material particulado en exteriores sobre las que se han realizado estudios epidemiológicos de efectos de salud. Si bien no queda claro si el material particulado es la mejor medida para caracterizar al humo de tabaco en el ambiente, el gran impacto en la salud en las concentraciones comúnmente encontradas obliga a concluir que ningún nivel mayor de cero se puede considerar aceptable.

También se debe considerar que la exposición al humo de tabaco en el ambiente y la exposición a otros contaminantes del aire pueden actuar

sinérgicamente y producir efectos adversos en la salud. Existen semejanzas entre el humo de tabaco en el ambiente y el humo de biomasa de las cocinas, ya que cientos de los compuestos orgánicos que ambos contienen son similares. Esto apoya la evidencia de que la exposición al humo de la biomasa de cocinas de leña causa efectos adversos considerables en todo el mundo.

Es conveniente usar un enfoque conservador o aplicar las Guías de Calidad del Aire de 1987 para el material particulado (OMS, 1987). (13)

CUADRO N° 02: CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS Y EXPOSICIÓN EN LOS PRINCIPALES MICROAMBIENTES DEL MUNDO.

Región	Concentración		Exposición		
	Interiores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Exteriores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Interiores (%)	Exteriores (%)	Total (%)
<u>Países desarrollados</u>					
Urbano	100	70	7	1	7
Rural	80	40	2	0	2
<u>Países en desarrollo</u>					
Urbano	250	280	25	9	34
Rural	400	70	52	5	57
		Total (%) =	86	14	100

Nota: las exposiciones de la población se expresan como porcentaje del total mundial. En este documento la exposición se define como igual al número de personas expuestas multiplicado por la duración de la exposición y la concentración respirada durante ese período.

FUENTE: guía para la calidad del aire, OMS

F. CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR

Como consecuencia de los cambios sociales ocurridos durante la segunda mitad del siglo XIX y durante todo el siglo XX, se inició una migración interior en los países, que tuvo como consecuencia el abandono de los modos de vida rurales.

Un cambio tan sustancial del hábitat humano ha hecho que la sociedad actual sea fundamentalmente urbana. Aproximadamente entre el 70% y el 80% de la población vive en núcleos urbanos de tamaño medio o grande. Por otra parte, se acepta que el ciudadano medio urbano pasa más del 90% de su tiempo en espacios interiores.

Nadie pone en duda que la sociedad actual está muy concienciada sobre los temas que afectan al medioambiente externo. Sin embargo, aun cuando existe una preocupación creciente, poco se ha avanzado en la regulación de las condiciones ambientales en espacios interiores, a pesar de ser un problema que afecta a miles de personas en todo el mundo.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) finalmente ha llegado a definir el 'Síndrome del Edificio Enfermo' (SEE) o 'Sick Building Syndrome' (SBS). Este síndrome se define como un conjunto de molestias (sequedad de piel y mucosas, escozor de ojos, cefalea, astenia, falta de concentración y de rendimiento laboral, entre otras) o enfermedades, que aparecen durante la permanencia en el interior del edificio afectado y desaparecen después de su abandono. Esta circunstancia ha de darse, al menos, en un 20% de los usuarios.

Este síndrome se ha establecido como un valor convenido y aceptado universalmente, por eso se ha de contemplar con rigor en los planteamientos sindicales o de prevención de riesgos, y se deben establecer y exigir planes de prevención o de corrección eficaz. (14)

G. LA ATMÓSFERA INTERIOR

La comodidad y la salud relacionadas con las edificaciones se relacionan directamente con la calidad de la atmósfera interior, determinada por la combinación de temperatura, gradientes de temperatura, humedad, luz, ruido, olores, contaminantes químicos, salud personal, requerimientos de las actividades laborales o de otra naturaleza realizadas dentro del edificio y factores psicosociales. Es decir, los edificios son sistemas dinámicos complejos formados por múltiples factores que interactúan, determinando el estado del sistema en un momento dado. Los microambientes dentro de los edificios pueden ser determinantes sumamente relevantes del efecto de los edificios sobre la salud de los ocupantes. La heterogeneidad espacial, entre una mezcla de variables relevantes, dificulta el estudio y la comprensión de las relaciones causales relacionadas con la salud. (15)

Gran parte del trabajo enfocado a los efectos de los edificios sobre la salud se centra en las combinaciones de temperatura, humedad, ventilación y contaminación de la atmósfera interior. Entre los contaminantes del aire se pueden mencionar los compuestos orgánicos volátiles (VOC), semivolátiles (SVOC) y microbianos (MVOC), el material particulado, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono, y los agentes biológicos como bacterias, virus, y esporas fúngicas. Muchos contaminantes del aire se generan puertas adentro, mientras que otros se infiltran desde el exterior.

Estos factores interactúan en múltiples combinaciones que varían en función del tiempo y el espacio, aún dentro de la misma habitación o edificio, y esto hace difícil comprender hasta que grado cada uno contribuye a la evolución de la salud. Por ejemplo, las evaluaciones de la exposición a contaminantes de la atmósfera interior que toman como hipótesis una concentración homogénea pasarán por alto importantes gradientes de concentración alrededor de las fuentes puntuales de emisión. La concentración puede cambiar varios órdenes de magnitud, según la proximidad a una fuente de emisión. (16)

Es preciso considerar en conjunto el diseño, la operación y el mantenimiento de los edificios. Las opciones referidas al diseño y la construcción influirán en la operación y el mantenimiento, determinando la mayor o menor probabilidad de ocurrencia de problemas de salud relacionados con el edificio. Numerosos estudios que intentan examinar las enfermedades relacionadas con los edificios se ven limitados por su diseño (p.ej. los relevamientos transversales, que son comunes, están limitados por diversos tipos de sesgo), por la falta de información cuantitativa sobre exposición, por la subjetividad en los criterios de valoración, y por la incertidumbre sobre cuáles de los potenciales factores causales deberían medirse. Asimismo, dadas las interacciones entre múltiples factores relacionados con los edificios, las técnicas estadísticas de uso más frecuente no se prestan adecuadamente para el análisis. Los modelos basados en el análisis de componentes principales o en la modelización matemática estructural son, en cierta medida, prometedores, pero requieren ser pulidos antes de poder ser aplicados en forma generalizada. (17)

H. EXPOSICIÓN A LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

La exposición diaria total de un individuo a la contaminación del aire equivale a la suma de los contactos independientes que tiene con el aire contaminado cuando pasa a través de diferentes ambientes (también llamados microambientes) a lo largo del día, como el hogar, el trayecto de la casa al trabajo, la calle, etcétera. La exposición en cada uno de estos ambientes se puede estimar como el producto de la concentración del contaminante en cuestión y el tiempo que el individuo ha permanecido en tal ambiente.

Existen muchos factores que pueden explicar las sustanciales diferencias entre las concentraciones de contaminantes medidas en sitios centralizados y aquellas medidas en las zonas respiratorias de los habitantes de la comunidad. Muchos de esos factores se pueden expresar

a través de modelos que se han usado para estimar la distribución de las dosis asociadas con las concentraciones del aire ambiental. (12)

I. IMPORTANCIA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE PARA LA SALUD

A finales de los ochenta y en los noventa surgió una nueva base de datos de estudios epidemiológicos. Esta base de datos de estudios de series temporales se desarrolló primero en Estados Unidos y posteriormente en Europa y otras áreas. En esencia, el enfoque de las series temporales toma el día como la unidad de análisis y relaciona la ocurrencia diaria de eventos, como defunciones y admisiones hospitalarias, con la concentración promedio diaria de los contaminantes. Sin embargo, también considera cuidadosamente los factores de confusión como la estación, la temperatura y el día de la semana.

Se han aplicado técnicas estadísticas poderosas y se han generado coeficientes que relacionan las concentraciones promedio diarias de los contaminantes con sus efectos. Se han demostrado asociaciones entre las concentraciones promedio diarias de las partículas, el O₃, el SO₂, la acidez transportada por el aire, el NO₂ y el CO. Si bien las asociaciones para cada uno de esos contaminantes no fueron significativas en todos los estudios, si se toma la evidencia en su totalidad, la consistencia de los resultados es sorprendente. Para las partículas y el O₃, muchos han coincidido en que los estudios no indican un efecto umbral. (12)

J. CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE Y FACTORES QUE AFECTAN LA SENSIBILIDAD

La concentración de los contaminantes clásicos del aire en exteriores en Europa y Estados Unidos se ha tratado detalladamente en las Guías de Calidad del Aire para Europa (OMS, 1990a). En los países en desarrollo, los niveles de concentración de la contaminación en exteriores son 10

veces mayores, según el Sistema de Información sobre Gestión de la Calidad del Aire (AMIS, por sus siglas en inglés), que es la principal fuente de información al respecto sobre países en desarrollo.

Los contaminantes del aire en interiores generalmente se diferencian de los del aire en exteriores por el tipo y nivel de concentración. Los contaminantes en interiores incluyen el humo de tabaco en el ambiente, las partículas biológicas y no biológicas, los compuestos orgánicos volátiles, los óxidos de nitrógeno, el plomo, el radón, el monóxido de carbono, el asbesto, productos químicos sintéticos y otros. El deterioro de la calidad del aire en interiores ha sido asociado con una variedad de efectos sobre la salud, desde malestar e irritación hasta enfermedades crónicas y cáncer. En una escala global, casi la mitad de los hogares del mundo emplean diariamente combustibles de biomasa como fuente de energía para la cocina o la calefacción.

El humo de la biomasa contiene cantidades significativas de contaminantes importantes: CO, *material particulado*, HC y, en menor grado, NOx. Sin embargo, también contiene muchos compuestos orgánicos, incluidos los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos), sospechosos de ser tóxicos, carcinógenos, mutágenos o perjudiciales de alguna otra manera. En muchos países, la quema de carbón es una fuente importante de contaminación del aire en interiores y su humo contiene todos esos contaminantes y otros adicionales, como los óxidos de azufre y metales pesados como el plomo.

Una proporción desconocida pero significativa de quema de combustibles de biomasa se produce en condiciones de poca ventilación en las viviendas. Por consiguiente, parte de las concentraciones más altas de material particulado y otros contaminantes se encuentran en ambientes interiores de zonas rurales de los países en desarrollo. Debido a las altas concentraciones de contaminantes y a la gran cantidad de poblaciones expuestas, la exposición humana total a muchos contaminantes del aire de importancia puede ser mucho mayor en las viviendas de los pobres en

los países en desarrollo que en los exteriores de las ciudades en el mundo desarrollado.

La altitud, la temperatura y la humedad varían significativamente en todo el mundo. A mayor altitud, la presión parcial de oxígeno disminuye y, en compensación, la inhalación aumenta. En el caso de las partículas transmitidas por el aire, los mayores volúmenes de inhalación darán lugar a la ingesta de un mayor número de ellas. Por otro lado, en el caso de los contaminantes gaseosos, no se espera ningún aumento en los efectos respecto a aquellos esperados en el nivel del mar. La temperatura tiene un efecto importante en la salud, mientras que la humedad probablemente no causa un efecto significativo en la toxicidad de los contaminantes gaseosos.

La distribución de la población por grupos de edad varía notablemente de un país a otro. Las personas mayores tienden a ser más susceptibles a la contaminación del aire. Los niños muy pequeños también pueden estar en gran riesgo. Las personas con un bajo nivel de vida sufren deficiencias de nutrición, enfermedades infecciosas debido a condiciones insalubres de saneamiento y hacinamiento, además de tener un nivel insuficiente de atención médica. Cada uno de esos factores puede aumentar la susceptibilidad de los individuos a los efectos de la contaminación del aire.

Las enfermedades que causan la estrechez de las vías respiratorias, una reducción en el área de la superficie de intercambio de gases del pulmón y una mayor alteración de la razón inhalación-perfusión pueden hacer al individuo más susceptible a los efectos de diversos contaminantes del aire. (12)

K. FACTORES QUE AFECTAN LA SENSIBILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE INTERIORES

Los contaminantes del aire en interiores generalmente se diferencian de los del aire en exteriores por el tipo y nivel de concentración. Los

contaminantes en interiores incluyen el humo de tabaco en el ambiente, partículas biológicas (como polen, ácaros, moho, insectos, microorganismos, alérgenos de mascotas, etcétera) y no biológicas (como el humo), compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, plomo, radón, monóxido de carbono, asbesto, productos químicos sintéticos y otros. El deterioro de la calidad del aire en interiores ha sido asociado con una variedad de efectos sobre la salud, desde malestar e irritación hasta enfermedades crónicas y cáncer.

La creciente preocupación de las personas por la calidad del aire en interiores ha llevado a muchos países desarrollados a caracterizar los niveles de contaminantes del aire de interiores para mejorar la ventilación y las emisiones de los combustibles y para reducir la exposición al humo de tabaco en el ambiente, la contaminación biológica y el radón, entre otras acciones. Si bien existe considerable evidencia de que la calidad del aire de interiores es un problema serio y generalizado, en muchos países en desarrollo no se dispone, por lo general, de la información ni de los recursos necesarios para afrontarlo.

Es probable que el factor más importante que causa diferentes exposiciones a los contaminantes del aire en los diferentes países, en términos cualitativos y cuantitativos, sea el uso de combustible sólido para la calefacción y la cocina. Este tema amerita atención especial. En una escala global, casi la mitad de los hogares del mundo emplean diariamente combustibles de biomasa (madera, residuos de cultivos, estiércol y césped) como energía para cocinar o calentar el hogar. Por ejemplo, en la China se ha estimado que la quema de carbón origina concentraciones de partículas de hasta 5.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el interior de las viviendas, mientras que las casas que emiten humo en Nepal y Papúa Nueva Guinea alcanzan niveles pico de 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ó más. Una proporción desconocida pero significativa de esta actividad se produce en condiciones que propician la dispersión de estas partículas por el aire en el área de las viviendas. Por consiguiente, las concentraciones más altas

del material particulado se encuentran en interiores de zonas rurales de los países en desarrollo.

El humo de la biomasa contiene cantidades significativas de varios contaminantes importantes: CO, partículas, HC y, en menor grado, NOx. Sin embargo, el humo de la biomasa también contiene muchos compuestos orgánicos, incluidos los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos), considerados tóxicos, carcinógenos, mutagénicos o perjudiciales de alguna otra manera. El humo del carbón contiene todos estos compuestos y otros contaminantes, como óxidos de azufre y metales pesados como el plomo.

En muchas partes del mundo estos contaminantes provienen de las estufas en los hogares mal ventilados o en patios cerrados. Debido a las altas concentraciones y a la gran cantidad de poblaciones expuestas, la exposición humana total a muchos contaminantes del aire importantes puede ser mucho mayor en las viviendas pobres de los países en desarrollo que en los exteriores de las ciudades de los países desarrollados.

- **Factores demográficos**

La distribución de la población por grupos de edad varía notablemente de un país a otro. Las personas mayores tienden a ser más susceptibles a la contaminación del aire debido al funcionamiento limitado de sus mecanismos fisiológicos de defensa, a sus menores reservas fisiológicas y al aumento de la prevalencia de enfermedades. Los niños muy pequeños también pueden estar en mayor riesgo debido a que sus mecanismos de defensa todavía están en desarrollo, a las mayores tasas de ventilación por unidad de masa corporal y a que tienden a pasar más tiempo al aire libre que los adultos.

- **Factores socioeconómicos**

Las personas con un bajo nivel de vida sufren deficiencias de nutrición, enfermedades infecciosas debido a condiciones insalubres y hacinamiento, además de tener un nivel insuficiente de atención médica.

Cada uno de estos factores puede aumentar la susceptibilidad de los individuos a los efectos de la contaminación del aire. La ausencia de antioxidantes en el régimen alimenticio puede disminuir los mecanismos de defensa contra los contaminantes oxidantes del aire como el O₃ y el NO₂. Es probable un retardo en los mecanismos naturales de eliminación de las partículas nocivas de las vías respiratorias cuando estas ya están dañadas por la infección. En los países en desarrollo, la baja calidad del aire puede estar estrechamente relacionada con la incidencia de enfermedades infecciosas.

- **Efectos de los diferentes niveles de enfermedades en la población**

Las enfermedades que causan la estrechez de las vías respiratorias, una reducción en el área de la superficie de intercambio de gases del pulmón y una mayor alteración de la proporción inhalación-perfusión pueden hacer al individuo más susceptible a los efectos de diversos contaminantes del aire. Los estudios epidemiológicos han demostrado que los pacientes con asma o enfermedades pulmonares obstructivas crónicas experimentan un aumento de los síntomas cuando los niveles de los contaminantes se incrementan. Cabe observar que el asma es menos común en los países en desarrollo que en los países desarrollados. No obstante, la prevalencia de enfermedades infecciosas en los países en desarrollo, incluida la tuberculosis, puede incidir negativamente contra el desarrollo de la respuesta de los anticuerpos de la inmunoglobulina E, a los anticuerpos IgE, lo cual es característico del asma.

- **Diferencias específicas de los niveles de prevalencia de los contaminantes de aire**

Las concentraciones de los contaminantes del aire varían significativamente de un país a otro. En los países donde la contaminación del aire en interiores es común debido a que se cocina con fuego abierto y en habitaciones con muy poca ventilación, la exposición en interiores puede ser una causa importante de daño a la salud, principalmente entre las mujeres. En otros países, incluidos los del Medio Oriente, las concentraciones de partículas en exteriores son altas debido al polvo dispersado por el viento. En las áreas desérticas este polvo contiene una alta proporción de sílice y se han observado nódulos silicóticos en los pulmones de los habitantes de las zonas correspondientes. No obstante, las altas concentraciones de ceniza volcánica no parecen estar asociadas con los efectos agudos sobre la salud. AMIS (OMS, 1997b; OMS 1998b) provee ejemplos específicos de los niveles de la calidad del aire urbano y de la calidad del aire en interiores en diversos países de todo el mundo. Es probable que los países donde se emplea el carbón pardo (o lignito) para la calefacción doméstica muestren altas concentraciones de humo y SO₂. A estos se les deben sumar los contaminantes producidos por los vehículos automotores. En muchas partes del mundo se emplea combustible con plomo y en estas zonas, las partículas de plomo transportadas por el viento tienen una contribución importante en la ingesta total de plomo, tanto por inhalación como por ingestión.

L. EXPOSICIÓN A LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

La exposición diaria total de un individuo a la contaminación del aire equivale a la suma de los contactos independientes que experimenta cuando pasa a través de diferentes ambientes en el transcurso del día

(también llamados microambientes, como el hogar, el trayecto de la casa al trabajo, la calle, etc).

La exposición en cada uno de estos ambientes se puede estimar como el producto de la concentración del contaminante en cuestión y el tiempo que ha permanecido en tal ambiente. En este modelo, se estima una concentración más o menos constante de los contaminantes durante el tiempo que una persona permanece en cada ambiente.

Es importante no confundir la exposición y la dosis; esto es, la cantidad de contaminante que se absorbe. A medida que el número de microambientes estudiados aumenta, se obtiene un mejor estimado de la exposición total diaria de un individuo. La concentración promedio diaria de un contaminante registrado en una única fuente puntual externa fija permite obtener solo una indicación muy aproximada a la exposición real. Un microambiente de importancia evidente son los interiores, donde el tipo y concentración de los contaminantes pueden ser muy diferentes de los que se dan en exteriores. Por ejemplo, las concentraciones de O₃ generalmente son mucho menores en interiores (en ausencia de fuentes contaminantes interiores) y el O₃ que proviene de fuentes externas se destruye por la reacción con las superficies interiores. En cambio, en interiores, la concentración de una partícula fina no reactiva químicamente, como el sulfato, puede alcanzar 90% de las concentraciones de exteriores. En el caso de algunos contaminantes, las concentraciones en interiores generalmente son mayores que las de exteriores. En los países de clima frío, las personas que viven en las zonas urbanas pasan casi 90% de su tiempo en interiores. Esta variable debería considerarse al interpretar los resultados de los estudios epidemiológicos que relacionan las concentraciones de contaminantes de exteriores con efectos en la salud.

En otros países donde el clima es cálido y muchas de las actividades ocupacionales se realizan en exteriores, el porcentaje del día que se pasa en interiores puede ser mucho menor. En algunos países en desarrollo, la contaminación del aire en interiores puede ser mucho mayor que en exteriores debido al uso de combustibles de biomasa en cocinas de fuego abierto. Las concentraciones de contaminantes en exteriores no solo varían temporalmente sino también de acuerdo con el lugar, por ejemplo, las concentraciones de contaminantes primarios generados por los vehículos motorizados disminuyen rápidamente a medida que uno se aleja de las vías transitadas. No obstante, las concentraciones de los contaminantes generados por vehículos motorizados pueden ser significativamente mayores de lo que indican los monitores de sitios únicos y, por lo tanto, el vehículo motorizado puede ser, por sí solo, un microambiente importante.

En áreas extensas, algunos contaminantes, como el O₃ y las partículas finas, están distribuidos de manera uniforme. En tales casos, el monitoreo de un número limitado de sitios puede ser un indicador adecuado de las concentraciones en regiones extensas. Se han desarrollado dispositivos de monitoreo personal para algunos contaminantes. En su forma más simple, estos dispositivos proveen una evaluación integral de la exposición personal durante un determinado periodo. (12)

M. ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y UNIDADES USADAS PARA DESCRIBIR LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Para comparar las concentraciones de contaminantes del aire en diferentes países, se requiere un sistema consistente de unidades. Tanto para los gases como para las partículas, la OMS ha adoptado un sistema de masa por unidad de volumen, con concentraciones generalmente expresadas como ug/m³. Es importante especificar la temperatura

ambiental y la presión atmosférica, ya que estas condiciones determinan el volumen de una masa de aire. Esto, además, es muy importante para considerar los contaminantes en una escala global.

El sistema alternativo, basado en la razón de mezcla del volumen, se aplica solo a gases. Por ejemplo, en este sistema la concentración de gas se expresa en partes por billón. Si se parte de un comportamiento ideal de los gases, dicha concentración no depende de las condiciones de muestreo, ya que estas afectarán el aire que contiene el contaminante y el contaminante mismo en idéntica medida. Por lo tanto, un gas presente en una parte por millón ocupa un cm^3 por m^3 de aire contaminado; es decir, está presente como una molécula por 1×10^6 moléculas y ejerce una presión parcial de 1×10^{-6} atmósferas.

Los dos sistemas se pueden convertir entre sí bajo condiciones ideales: un mol de gas ocupa 22,4 litros a 273 °K y a 13 mb de presión (condición que se llama temperatura y presión estándar de aire seco; STPD, por sus siglas en inglés).

GRÁFICO N° 01: DISTRIBUCIÓN DE MASA DE LAS PARTÍCULAS EN EL AMBIENTE

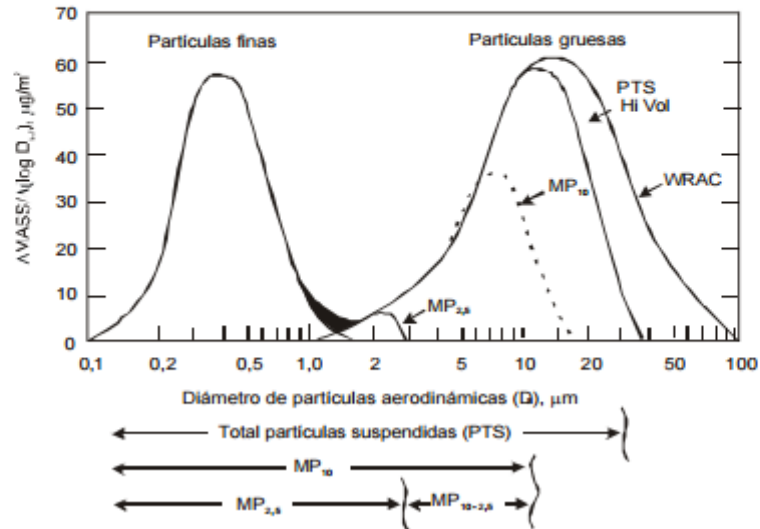
Ejemplo representativo de la distribución de masa de las partículas en el ambiente en función del diámetro de las partículas aerodinámicas, un captador de partículas de alto volumen (WRAC) proporciona un estimado de la distribución total de las partículas gruesas. Las restricciones de ingreso del muestreador de alto volumen para las PTS, el muestreador de MP 10 y el muestreador de MP 2.5 reducen la masa total que llega al filtro de muestreo.

$$\text{mg/m}^3 = \text{ppm} \times (\text{peso molecular/volumen molar})$$

$$\text{Volumen molar} = 22,4 \times T \times 1.013/273 \times P$$

T = temperatura absoluta (K)

P = presión atmosférica (mb)



FUENTE: EPA – 1996

Para las partículas, se usa el enfoque de masa por unidad de volumen. La sedimentación de partículas en el tracto respiratorio depende de las dimensiones de estas (OMS, 1979). Por lo tanto, al describir la carga de la partícula en el aire, se deberá proporcionar información sobre la distribución del tamaño de la partícula, además de la información sobre la concentración de la masa. El gráfico anterior se muestra una distribución representativa del tamaño de las partículas en áreas urbanas. También puede ser importante especificar el número de partículas presentes en cada uno de los rangos específicos de tamaño por unidad de volumen de aire. (12)

Las técnicas que actualmente se usan para medir la concentración de la masa de las partículas en el aire emplean dispositivos para muestrear tamaños específicos y, por lo tanto, la masa de partículas con un diámetro inferior de 10 μm (MP10) se puede determinar como un índice de la concentración de la masa de partículas que pueden penetrar en el tórax del

ser humano. Los dispositivos de muestreo permiten una separación suficientemente confiable de partículas de mayor o menor tamaño que el especificado. Para mayor precisión, será necesario definir el porcentaje de la masa de partículas en el rango de tamaño específico aceptado por el sistema de muestreo (10 μm en el ejemplo anterior). Una carga de muestreo de MP10 acepta 50% de partículas de diámetro aerodinámico de exactamente 10 μm , con una fracción de aceptación de rápido aumento para las partículas de diámetro menor y de rápida disminución para las partículas de diámetro mayor.

La concentración de masa de las partículas con un diámetro menor de 2,5 μm (MP2,5) es un medio para medir la concentración gravimétrica total de varios tipos de partículas químicamente diferenciados que se emiten al ambiente o que se forman en él como partículas muy pequeñas. En la primera categoría (las que se emiten) se encuentran las partículas carbonosas del humo de la madera y las provenientes de las emisiones de motores diesel. La otra categoría (las que se forman en el ambiente) incluye las partículas carbonosas que se generan durante la secuencia de la reacción fotoquímica que también conduce a la formación de O_3 , así como las partículas de sulfato y nitrato que resultan de la oxidación de SO_2 y el óxido de nitrógeno liberado durante la combustión y sus productos de reacción.

La fracción de partículas gruesas, aquellas con diámetros aerodinámicos mayores de 2,5 μm , está compuesta principalmente de tierra y ceniza mineral que se dispersan mecánicamente en el aire. En términos químicos, las fracciones finas y las gruesas son mezclas complejas. Mientras estén en equilibrio en el aire, existe un equilibrio dinámico en el que ingresan al aire aproximadamente a la misma velocidad a la que salen. En climas secos, las concentraciones de partículas gruesas se equilibran mediante la dispersión en el aire, la mezcla con las masas de aire y la sedimentación gravitacional, mientras que las concentraciones de partículas finas están determinadas por las velocidades de formación, de transformación química y factores

meteorológicos. La concentración tanto de partículas finas como de partículas gruesas se agota efectivamente a través de la captación dentro y debajo de la nube por precipitación. (12)

CUADRO N° 03: COMPARACIÓN ENTRE PARTICULAS FINAS Y GRUESAS

	Partículas finas	Partículas gruesas
Formado de:	Gases	Sólidos grandes/gotas pequeñas
Formado por:	Reacción química; nucleación; condensación; coagulación; evaporación de niebla y gotas de nubes donde los gases se han disuelto y reaccionado.	Disrupción mecánica (por ejemplo, trituración, abrasión de superficies); evaporación de atomizadores; suspensión de polvo.
Compuesto de:	Sulfato SO_4^{2-} ; nitrato NO_3^- ; amonio, NH_4^+ ; ion hidrógeno, H^+ ; carbón elemental; compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos); metales (por ejemplo, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe); agua ligada a las partículas.	Polvos resuspendidos (por ejemplo, polvos del suelo, polvos de la calle); ceniza de carbón y petróleo, óxidos metálicos de elementos presentes en la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe); CaCO_3 , NaCl, sal marina; polen, esporas de moho; fragmentos de animales y plantas; restos de llantas gastadas.
Solubilidad	Muy soluble, higroscópico y deliquescente	Muy insoluble y no higroscópico
Fuentes	Combustión de carbón, aceite, gasolina, diesel, madera; productos de transformación atmosférica de NO_x , SO_2 y compuestos orgánicos incluidas las especies biogénicas (por ejemplo, terpenos), procesos de altas temperaturas, fundición, fábricas de acero, etcétera.	Resuspensión del polvo industrial y de la tierra que permanece en los caminos; suspensión de tierra removida (por ejemplo, por la agricultura, minería, caminos no pavimentados); fuentes biológicas; construcción y demolición; combustión de carbón y de aceite; brisa marina.
Vida útil	De días a semanas	De minutos a horas
Distancia de viaje	Cientos a miles de kilómetros	< 1 a decenas de kilómetros

Fuente: EPA (1995a, b).

Como se indica en el cuadro anterior, si bien es probable que algunas veces haya superposición, por lo general las partículas finas y gruesas provienen

de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos. Las partículas finas primarias se forman por la condensación de vapores de altas temperaturas durante la combustión. Las partículas finas secundarias por lo general se forman por gases de tres maneras:

- Nucleación (es decir, las moléculas de gas que se reúnen para formar una partícula nueva).
- La condensación de gases en partículas existentes.
- Por reacción de los gases absorbidos en gotas pequeñas.

En cambio, la mayoría de las partículas gruesas se forman directamente como partículas y surgen de la disrupción mecánica como triturado, evaporación de pulverizadores o suspensión de polvo proveniente de las actividades de construcción y agrícolas. Por lo general, la mayoría de las partículas gruesas se forma cuando las masas más grandes se desintegran en masas menores. Las consideraciones energéticas normalmente limitan los tamaños de las partículas a menos de 1,0 μm de diámetro. Algunas partículas minerales generadas por combustión, como la ceniza presente en el aire, también se encuentran dentro de la masa de partículas gruesas. Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en la masa de las partículas gruesas.

Por lo general, las partículas finas y las gruesas presentan diferentes grados de solubilidad y acidez. A excepción del carbono y algunos compuestos orgánicos, las partículas finas son muy solubles en agua y son higroscópicas (es decir, las partículas finas absorben y retienen agua muy fácilmente). Excepto bajo condiciones de niebla, las partículas finas también contienen casi todos los ácidos fuertes. En cambio, las partículas gruesas de minerales son en su mayoría insolubles, no higroscópicas y generalmente básicas.

Las partículas finas y gruesas normalmente se comportan de manera diferente en la atmósfera. Estas variaciones afectan diversas

consideraciones de exposición como la representatividad de los valores monitoreados en sitios específicos y el comportamiento de las partículas que ingresan a las viviendas y edificios, donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo.

Las partículas finas generalmente permanecen mayor tiempo en la atmósfera (de días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a dispersarse de manera más uniforme en un área urbana o en una región geográfica extensa. En consecuencia, pueden ocurrir transformaciones atmosféricas localmente, durante el estancamiento atmosférico o durante el transporte a distancias largas. Por ejemplo, la formación de sulfatos de SO₂ emitidos por centrales eléctricas con chimeneas altas puede ocurrir en distancias mayores de 300 kilómetros y que excedan las 12 horas de transporte. Esto hace que las partículas resultantes se mezclen bien en el área atmosférica. Una vez formadas, la deposición seca y lenta de las partículas finas contribuye a su persistencia y uniformidad en la masa de aire.

Las partículas más gruesas tienden a depositarse más rápidamente que las partículas pequeñas. Esto da lugar a que la masa total de las partículas más gruesas (>10 µm) tienda a precipitarse más rápidamente y que permanezca en la atmósfera solo durante algunos minutos u horas, de acuerdo con su tamaño, la velocidad del viento y otros factores. Por lo general, su impacto espacial está limitado por una tendencia a la precipitación en las áreas vecinas a sotavento. El comportamiento atmosférico de las partículas pequeñas dentro de la "fracción gruesa" (MP10-2,5) se ubica entre el de las partículas más gruesas y las partículas finas. Por lo tanto, algunas de las partículas más pequeñas de la fracción gruesa pueden tener tiempos de vida del orden de días y distancias de viaje de hasta 100 kilómetros o más. En algunos lugares, la distribución y meteorología de las fuentes afectan la homogeneidad relativa de las partículas finas y gruesas y, en algunos casos, el mayor error de medición al calcular la fracción gruesa impide obtener conclusiones claras sobre la homogeneidad relativa.

La composición de las partículas transmitidas por el aire rara vez se determina rutinariamente, aunque esto pueda variar de manera significativa de acuerdo con el sitio de muestreo. Esto es importante para interpretar los resultados de los estudios epidemiológicos acerca de los efectos de las partículas en la salud. La extrapolación de los datos recolectados en un país a las condiciones de otro puede ser imprudente, a no ser que se haya establecido un nivel de comparabilidad de la composición de las partículas.

(12)

N. LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES

Los seres humanos pasan la mayor parte de su tiempo en interiores, donde pueden estar expuestos a una deficiente calidad del aire. La contaminación y deterioro del aire en interiores causan enfermedades, incrementan la mortalidad, las pérdidas en la productividad y tienen serias consecuencias económicas y sociales. Los problemas del aire en interiores se pueden reducir a través de una mejor planificación urbana, diseño, operación y mantenimiento de edificios y el uso de materiales y equipos menos contaminantes en los edificios. Los problemas de la calidad del aire en interiores afectan a todos los tipos de construcciones, incluidas las viviendas, escuelas, oficinas, centros de salud y otros edificios públicos y comerciales. Los efectos sobre la salud pueden incluir la elevación de las tasas de cáncer, enfermedades pulmonares, alergia y asma, así como condiciones mortales como el envenenamiento con monóxido de carbono y la enfermedad de los legionarios. Los costos médicos y sociales asociados con estas enfermedades y la reducción subsecuente de la productividad humana conducen a pérdidas económicas asombrosas.

A. Cómo resolver los problemas de calidad del aire en interiores

- Cómo abordar las quejas y los síntomas de los ocupantes

La administración del edificio deberá atender las quejas de sus ocupantes relacionadas con la calidad del aire. Podrá emprender una investigación

sobre la causa de las quejas y conducirla hasta donde sea posible y, de ser necesario, la gerencia deberá contratar a un consultor externo.

- **Procedimientos de diagnóstico en el edificio**

Protocolo de investigación.

Una vez que se han recibido las quejas relacionadas con la calidad del aire en interiores, el personal experimentado o los consultores deberán investigar la causa del problema a través de un proceso reiterativo de recopilación de información y verificación de hipótesis.

Como primer paso, se deberá realizar una inspección panorámica y preliminar del edificio, incluida las áreas afectadas y los sistemas mecánicos que abastecen a estos espacios. Una inspección de este tipo permite obtener información sobre los ocupantes, el sistema HVAC, las rutas y las fuentes de los contaminantes. En primer lugar, se deberán evaluar los indicadores visuales de las posibles fuentes de contaminantes o del mal funcionamiento del sistema HVAC. Si esta inspección no basta para obtener una solución, se deberán tomar mediciones de temperatura, humedad relativa y flujo del aire. El registro de los síntomas y los cronogramas de las actividades desarrolladas en el edificio pueden proveer la información necesaria para solucionar el problema. Cuando la inspección visual y los datos recopilados de los ocupantes no permiten identificar una posible causa, será necesario tomar muestras sobre los contaminantes sospechosos o comparar los niveles de contaminantes en interiores y exteriores a fin de determinar la fuente del problema.

Siempre que se identifique un problema a través de la investigación, se deberá buscar una solución y determinar en qué medida se ha resuelto la fuente de la queja.

Políticas públicas

Si los gobiernos desarrollaran e implementaran estrategias integrales para los ambientes interiores, en concertación con todos los actores sociales y

económicos, se podrían evitar muchos de los problemas relacionados con la baja calidad del aire, a un bajo costo y sin comprometer la eficiencia en lo referente a la energía.

Orientación/educación

La comprensión de los aspectos relacionados con la calidad del aire permite a un gobierno centrarse en la educación pública sobre este tema. La información general y la capacitación técnica pueden ser útiles para minimizar la contaminación del aire en interiores. Es necesario brindar especial atención al proceso de diseño para que los edificios cumplan las normas aceptables de aire en interiores. Se puede impartir orientación técnica y capacitación específica a las personas que influyen en la calidad del aire de los edificios o en la salud de los ocupantes. Por ejemplo, arquitectos, ingenieros mecánicos, propietarios de los edificios, gerentes de instalaciones, constructores de viviendas, profesionales de diagnóstico y mitigación y médicos.

Soporte de investigación

Caracterización de las fuentes contaminantes. La investigación sobre la calidad del aire en interiores puede usarse para caracterizar las fuentes de contaminantes y para preparar protocolos orientados a reducir las exposiciones. Además, ofrece información sobre la relación entre los efectos en la salud y los contaminantes de interiores.

Los efectos en la salud. Hay tres áreas en que la investigación puede mejorar significativamente nuestra comprensión de los efectos de la contaminación de interiores en la salud. Estas son la exposición química de bajo nivel y las mezclas de contaminantes, las alergias, la hipersensibilidad y la sensibilidad química múltiple, también conocida como enfermedad ambiental.

Es necesario caracterizar los efectos de la exposición de bajo nivel a las mezclas de contaminantes presentes en ambientes no industriales, ya que estos pueden provocar efectos en la salud distintos de los producidos por niveles mayores de contaminantes, como los identificados en los límites de exposición ocupacional.

La investigación también puede servir para comprender mejor los mecanismos que causan los efectos en la salud y las diferentes respuestas de los individuos o grupos de individuos. Por ejemplo, un mejor entendimiento de la hipersensibilidad relacionada con la alergia y otras condiciones permitiría encontrar soluciones médicas a este tipo de reacciones.

También es necesario realizar investigaciones para caracterizar y determinar las causas y soluciones para la sensibilidad química múltiple. El primer paso para evaluar si la calidad del aire en interiores contribuye al desarrollo de este síndrome es identificar la naturaleza fisiológica de este mal.

Desarrollo tecnológico. El desarrollo de mejores tecnologías para el diagnóstico, la mitigación y el control permitirían mejorar la calidad del aire en interiores. Es necesario realizar estudios de mitigación y control para brindar alternativas económicas y prácticas a las tecnologías vigentes. También se requieren mejores medios para medir la eficacia de los sistemas de ventilación. Si bien la capacidad para medir cada contaminante de manera independiente supera la información que se tiene sobre sus efectos en la salud en niveles medidos, todavía hay mucho por hacer en cuanto a la medición de mezclas de contaminantes. Se deben desarrollar herramientas de diagnóstico de bajo costo y fáciles de usar.

Es necesario también mejorar los métodos para evaluar la contaminación biológica transmitida por el aire, incluidos los microorganismos viables y

totales. La investigación debe orientarse al desarrollo de métodos inmunológicos, entre otros, que permitan detectar y cuantificar de manera confiable los organismos o sus alérgenos. También es necesario desarrollar técnicas para evaluar las micotoxinas y los metabolitos microbianos que puedan afectar la salud a través de mecanismos no alérgicos.

El síndrome del edificio enfermo y las enfermedades relacionadas con los edificios. Se requieren esfuerzos para identificar las causas y soluciones para el síndrome del edificio enfermo y las enfermedades relacionadas con los edificios (remítase al capítulo 4 para definiciones sobre estos términos). Para comprender mejor los problemas de la calidad del aire en interiores, es importante investigar los efectos en la salud y los diagnósticos de los edificios junto con el análisis y recopilación de los datos de investigaciones previas sobre los edificios.

Evaluación de problemas y estudios preliminares

Es necesario evaluar el alcance de los problemas de la calidad del aire en interiores para proporcionar una información exacta durante el establecimiento de prioridades de los problemas de salud pública.

Estudios preliminares en los edificios y epidemiología. Los estudios preliminares en los edificios permiten identificar los tipos de construcciones en los que generalmente se presentan los problemas. Los resultados de estos estudios apoyan programas eficaces de reducción de riesgos. Los estudios epidemiológicos son necesarios para caracterizar los síntomas relacionados con la calidad del aire en interiores y distinguir los efectos de la contaminación del aire de aquellos causados por otros agentes. Los estudios epidemiológicos también permiten cuantificar el riesgo de los contaminantes del aire en interiores.

Economía. Los estudios económicos son importantes para medir los costos de la contaminación del aire en interiores y de las estrategias de control de calidad del aire que deben afrontar los individuos, las empresas

y la sociedad en general. Este campo de investigación incluye el desarrollo de mediciones de pérdida de productividad e incremento de costos de salud, así como cálculos sobre los costos de diferentes estrategias de control; por ejemplo, una mayor ventilación, el control de fuentes contaminantes y la limpieza del aire.

Ñ. EDIFICIOS SALUDABLES PARA PERSONAS SANAS

El término aire interior, suele aplicarse a ambientes de interior no industriales como los edificios de oficinas o edificios públicos tales como colegios, hospitales, universidades, teatros, restaurantes y viviendas particulares.

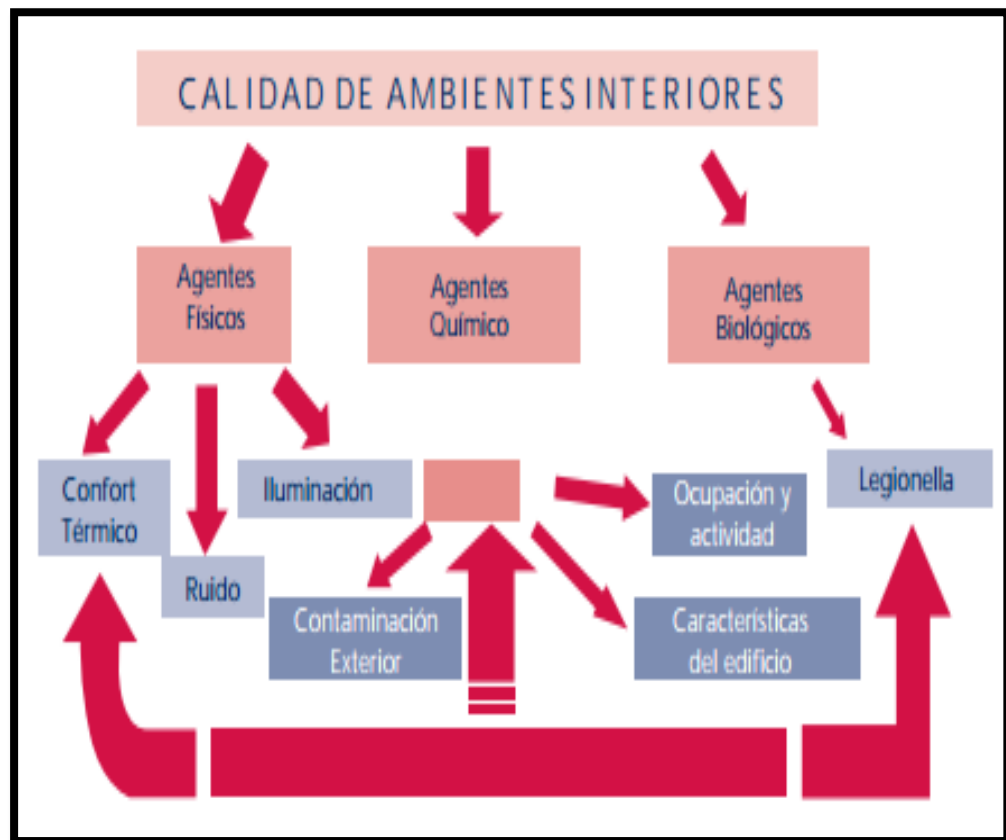
La calidad ambiental en edificios es perturbada de forma constante por la interacción de agentes físicos como la temperatura, el viento, la radiación solar, ruidos; los químicos también lo hacen, aquí encontramos a las sustancias y/o compuestos orgánicos e inorgánicos y también los desechos biológicos, produciendo diversos efectos y consecuencias sobre las personas, el medio físico-natural y los edificios.

Asimismo, los elevados índices de contaminación ambiental son una amenaza constante que deteriora el medio ambiente hasta convertirlo en no apto para el desarrollo de ciertas actividades y peligroso para la vida de las personas y otros seres vivos.

El estudio de las posibles soluciones a este problema ha dado lugar a un nuevo campo de conocimiento denominado Calidad de ambientes Interiores o IEQ (Indoor Environmental Quality).

Por tanto se llamará Calidad de Ambiente Interior, bienestar o confort a la consecución de una perfecta calidad en el conjunto de factores ergonómicos que se refieren a la calidad del ambiente térmico, ambiente acústico, ambiente luminoso y aire interior referido a los contaminantes en él presentes.

GRAFICO N° 02: CALIDAD DE AMBIENTENES INTERIORES



FUENTE: Calidad de Ambientes Interiores IEQ

O. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES

Una buena calidad de aire interior debe evitarnos problemas de salud o de incomodidad; el análisis de una buena calidad del aire interior, conlleva un estudio en profundidad y en muchos casos los contaminantes sólo podrán ser detectados con equipos específicos.

En 1980, las auditorias para evaluar ambientes interiores de oficina sólo representaban el 8% del total de auditorías ambientales para investigaciones. En 1990, el porcentaje se elevaba ya al 38% del total. Desde 1990, las auditoria IEQ han sido el 52% de todos las referidas a auditorias medioambientales. (Centers for Disease Control and Prevention CDC, USA). Los investigadores han encontrado problemas de IEQ

causados por deficiencias en los sistemas de ventilación, mobiliario y elemento de decoración, gases emitidos por materiales en la oficina y equipo mecánico, humo de tabaco, contaminación microbiológica, y contaminación en el aire exterior.

También se han encontrado problemas de confort térmico debido a desequilibrios de temperatura y humedad relativa, iluminación pobre, niveles inaceptables de ruido, así como condiciones ergonómicas adversas, y estrés laboral.

Por tanto, podemos realizar un estudio IEQ de edificios del modo siguiente:

- En los edificios ya construidos, el modo de asegurarnos la calidad del ambiente interior es someter a una Auditoria de IEQ que nos indique cuales son los posibles problemas a los que nos enfrentamos y que posibles modos de actuación, control y erradicación de los mismos podemos aplicar.
- En los nuevos edificios la investigación abarca el diseño y construcción del edificio y sus elementos auxiliares, así como la revisión del producto final, orientados a la obtención del Certificado de Calidad Ambiental Interior.

CUADRO N° 04: CONTAMINANTES INTERIORES I

Principales contaminantes interiores	
a) Gases y vapores	<hr/> VOCs =Compuestos Orgánicos Volátiles Alcanos y cicloalcanos Alcoholes alifáticos y sus ésteres Aldehidos y Cetonas Bencenos Gas natural Cloroformo Cloruro de metilo Diclorobencenos y Diclorometanos Formaldehídos y sus derivados Halocarbonos Naftalenos
	<hr/> Compuestos orgánicos - inorgánicos volátiles Gases nitrosos e hidrocarburos poliaromáticos Nitrosaminas
	<hr/> Gases y vapores inorgánicos Amoniaco Ácido cianhídrico y Anhídrido carbónico Metales y compuestos metálicos Monóxido de carbono Óxidos nitrosos y Óxidos sulfurosos. Sulfuro de hidróger Ozono

CUADRO N° 05: CONTAMINANTES INTERIORES II

b) Compuestos sólidos y líquidos en dispersión (partículas respirables)	<hr/> Humo de tabaco Humo de combustiones varias (calefacción) Polvo (sólidos dispersos) Fibras minerales naturales: <ul style="list-style-type: none">• Fibras de amianto (asbestos)• Fibras minerales artificiales (Man – Made Mineral Fibres):<ul style="list-style-type: none">> Lana de vidrio> Fibras cerámicas
c) Contaminantes biológicos	<hr/> Esporas Bacterias Hongos y mohos Virus
d) Contaminantes radioactivos	<hr/> Productos radioactivos naturales (radón y sus descendientes) Productos radioactivos artificiales

FUENTE: Aspectos técnicos de la calidad de ambientes interiores, Edificios Saludables para Trabajadores Sanos, Boletín Salud Laboral, parte 2.pdf

CUADRO N° 06: CONTAMINANTES INTERIORES III

Queja	Síntomas que les preceden	Posibles causas	Factores que predisponen	Frecuencia
Irritación	Sequedad o picazón de ojos, nariz, garganta; puede presentar síntomas como dolores de cabeza, náuseas, fatiga.	Elevada concentración de compuestos químicos volátiles como solventes o formaldehído; puede ser debido a que el aire sea muy seco.	Personas más sensibles tienden a empeorar durante la máxima emisión o con aire más seco.	Moderado
Envenenamiento por CO	Dolores de cabeza, mareos, despigmentación, mareos, test positivo en sangre, coma.	Descontrolada combustión	Condiciones cardíacas en individuos muy sensibles	Raro
Problemas neurológicos	Dolores de cabeza, temblores, pérdidas de memoria.	Abuso, mal manejo de insecticidas	Algunas personas muy sensibles	Raro
Infecciones	Infección diagnosticada como del Legionario.	Debe estar relacionada con específicos contaminantes en el edificio.	Previamente a tener un sistema inmune débil.	Raro
Malestar térmico	Demasiado calor, frío, muy mala ventilación.	HVAC	* No puedes agradar a todo el mundo todo el tiempo*	Común
Malestar (molestias)	Sin síntomas, sólo afectado por el mal olor	Inadecuado control de fuentes de emisión o contaminación.	Psicosocial	Moderado
Estresantes psicosociales	Dolor cabeza, fatiga, dolor muscular.	Escasas relaciones, hacinamiento.	Pobre comunicación	Común
Problemas ergonómicos	Dolor muscular, fatiga, vista cansada.	Asientos incómodos, movimientos repetitivos		Moderado
Luminosidad	Dolor de cabeza, vista cansada	Insuficiente luz, brillos, parpadeos.		Moderado
Ruido	Dolor de cabeza, hipertensión	Molestos ruidos que interfieren la concentración		Moderado

FUENTE: Aspectos técnicos de la calidad de ambientes interiores, Edificios Saludables para Trabajadores Sanos, Boletín Salud Laboral, parte 2.pdf

CUADRO N° 07: SÍNTOMAS HABITUALES PRESENTES EN EDIFICIOS CON PROBLEMAS DE CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES

Queja	Síntomas que les preceden	Posibles causas	Factores que predisponen	Frecuencia
Síndrome Edificio Enfermo S.E.E.	Dolores de cabeza, irritación, congestión, fatiga.	No relacionado con fuentes de emisión o contaminación	Peor si la ventilación es inadecuada	Común. (Raro en edificio bien mantenido)
Reacciones alérgicas	Congestión, asma, hinchazón, picores.	Condiciones no sanitarias (suciedad o crecimiento de moho)	Individuos alérgicos (20 - 30 % de población)	Común
Enfermedad de hipersensibilidad	Tos, fiebre, escalofríos, fatiga.	Repetidas exposiciones a microbios aerosolizados.	Inicialmente sensitivos a altos niveles de contaminación microbiológica.	Raro

FUENTE: Aspectos técnicos de la calidad de ambientes interiores, Edificios Saludables para Trabajadores Sanos, Boletín Salud Laboral, parte 2.pdf

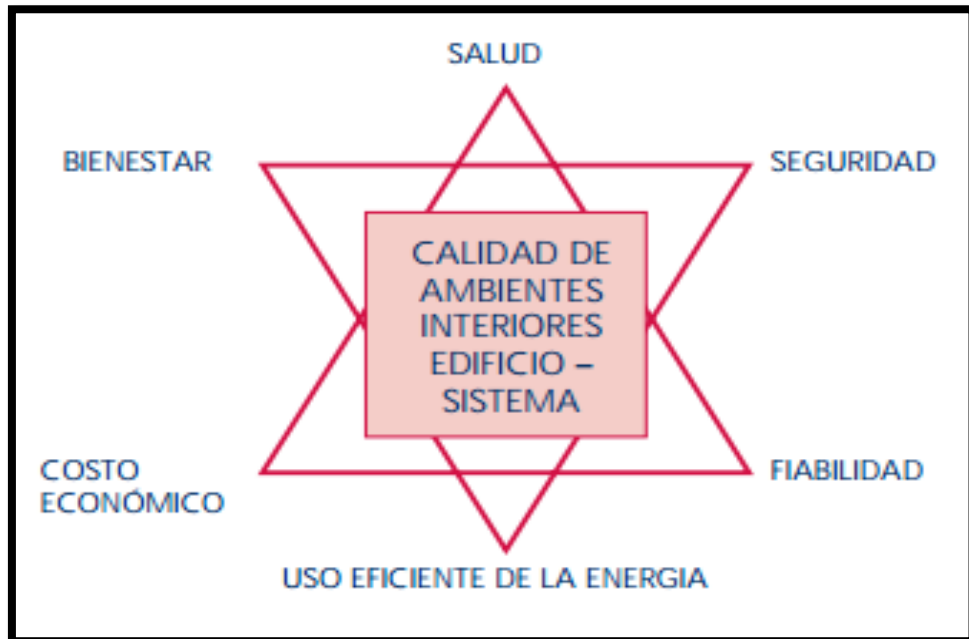
P. EFICIENCIA ENERGÉTICA E IEQ

Proporcionar un lugar con una adecuada calidad de aire interior es muy importante para la salud y el confort de los ocupantes, permitiendo mejorar su rendimiento y productividad, pero lograrlo no es gratuito, requiere que importantes aspectos del IEQ estén controlados y dentro de unos límites aceptables.

Aquellos aspectos del ambiente que aparezcan como más importantes para conservar un nivel aceptable de IEQ serán los contaminantes, condiciones térmicas (temperatura, humedad relativa, movimiento de aire), luz, ruidos, etc. Afortunadamente la mayor parte de los aspectos de un proyecto energético no afectan directamente a la calidad de aire interior, pero se deben tener siempre en cuenta.

En la siguiente figura se muestra la interrelación del IEQ con otros factores en los edificios entre los que se encuentra la eficiencia energética.

GRAFICO N° 03: CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES



FUENTE: Aspectos técnicos de la calidad de ambientes interiores, Edificios Saludables para Trabajadores Sanos, Boletín Salud Laboral, parte 2.pdf

Q. EL RIESGO: EVIDENCIA CIENTÍFICA DE DAÑOS A LA SALUD

En el aire interior se encuentra una mezcla de contaminantes procedentes de diferentes fuentes. La mayor parte de estas fuentes se encuentran en el interior, pero es de destacar el hecho de que el aire exterior que entra en la vivienda, puede introducir contaminantes que no se originan en este ambiente, por lo que dicho aire exterior se encuentra reseñado como una de las fuentes de contaminación en el interior. El ambiente interior en cualquier clase de edificio, incluidas viviendas, es un resultado de la interacción entre el sistema del edificio (diseño original y las subsecuentes modificaciones en la estructura y los sistemas mecánicos), las técnicas de construcción, las fuentes de contaminación (materiales de construcción y

mobiliario, humedad, procesos y actividades dentro del edificio), los ocupantes del edificio y las fuentes externas.

La concentración resultante depende de una compleja interacción de varios factores que afecta a la introducción, dispersión y retirada de los contaminantes:

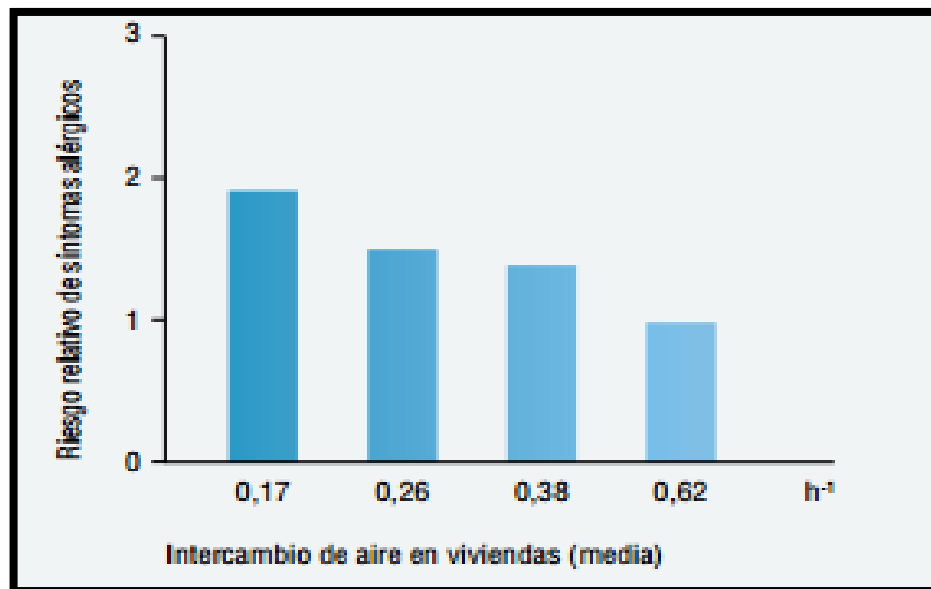
- Tipo, naturaleza y número de fuentes.
- Características de uso de la fuente.
- Características del edificio.
- Tasas de infiltración y ventilación.
- Mezcla de aire entre y dentro de los compartimentos de un espacio interior.
- Tasas de retirada y potencial reemisión o generación por las superficies interiores y transformaciones químicas.
- Existencia y efectividad de sistemas de retiradas del aire contaminado.
- Concentraciones en el exterior.

Diversos estudios señalan que los contaminantes en el aire interior pueden estar en mayor cantidad que los del aire exterior. Hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Las concentraciones de contaminantes en interiores no se reducen significativamente cuando el aire exterior entra en los edificios.
- b) Las personas pasan aproximadamente el 90% de su tiempo en espacios interiores.
- c) Dentro de los edificios se concentran nuevas fuentes de contaminación del aire por los cientos de productos que se utilizan en ellos.

Sirva de ejemplo el siguiente gráfico, en el que puede observarse la relación entre la ventilación y el riesgo de sufrir síntomas alérgicos. Al disminuir la ventilación, el riesgo aumenta.

GRAFICO N° 04: TASAS BAJAS DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS INCREMENTAN EL RIESGO DE SÍNTOMAS ALÉRGICOS ENTRE NIÑOS



FUENTE: Estudio representativo de 90 viviendas

A. CONTAMINANTES PRINCIPALES

Los principales contaminantes que se encuentran en el aire interior de viviendas, oficinas, locales de ocio, etc. son:

- Monóxido de carbono, CO
- Compuestos orgánicos volátiles, COV
- Dióxido de azufre, SO₂

- Partículas
- Asbestos
- Ozono
- Contaminantes biológicos
- Productos de uso doméstico
- Óxidos de nitrógeno, NOx
- Radón
- Humo ambiental de tabaco

Un factor importante que no constituye en sí mismo un contaminante pero sí está relacionado con la calidad del aire interior y efectos en salud y de gran importancia es:

- Altas temperaturas

CUADRO N° 08: CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE INTERIOR

Clasificación de contaminantes del aire interior	
Inorgánicos	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, fibras minerales, ozono, óxidos de azufre
Orgánicos	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)
Contaminantes de origen biológico	Virus, hongos, bacterias, ácaros, pelo y caspa de mascotas
Mezclas	Humo ambiental de tabaco, plaguicidas, ambientadores, desinfectantes y otros productos de uso doméstico
Alérgenos	Hongos, mohos, ácaros del polvo, caspa y pelo de mascotas, cucarachas, plantas

FUENTE: OMS 1992

La Organización Mundial de la Salud está elaborando una guía de Calidad de Aire interior.

R. AIRE OCUPACIONAL

La calidad de aire en interiores se ha convertido en tema importante de seguridad y salud ocupacional. Las medidas de conservación de energía instituidas a inicios de los 80 a menudo llevan a una entrada reducida del aire de exteriores y a un aumento del potencial para crear contaminación del aire generado internamente.

Las personas que trabajan en interiores a menudo experimentan síntomas como dolores de cabeza, falta de aire, tos o náuseas sólo para mencionar unos cuantos.

Sin embargo raramente es posible probar que estos síntomas están relacionados con un contaminante particular del aire en interiores. De hecho, los ocupantes de edificios están simultáneamente expuestos a un amplio rango de contaminantes de aire en interiores.

S. CONTAMINACION INTRADOMICILIARIA

Contaminación intradomiciliaria es toda emisión de sustancia y/o compuestos dentro de casas, colegios y oficinas que puedan afectar la salud de quienes habitan en ellas.

Además, debemos saber que la contaminación al interior puede superar la exterior y afectar más gravemente, ya que la mayor parte del día nos encontramos en espacios cerrados.

La contaminación al interior de los hogares se produce generalmente por la calefacción (estufas a parafina, leña, carbón) y cocina doméstica, el abuso del cigarrillo en ambientes sin ventilación, y a la distribución y uso de productos y combustibles domésticos que presentan emisiones atmosféricas (leña, carbón, gas). Además, se asocian a esta actividad la

utilización de solventes de tipo doméstico (insecticidas, fungicidas, termicidas), sistemas de aire acondicionado y polvo exterior.

CUADRO N° 09: COMPUESTOS Y SUSTANCIAS QUE PUEDEN AFECTAR LA SALUD

FUENTES	TIPO DE SUSTANCIAS DAÑINAS	EFFECTOS EN LA SALUD
	QUIMICAS	
Cigarrillo	Humo de Cigarrillo compuesto por más de 40 sustancias	Enfermedades pulmonares (incluso cáncer) y enfermedades al corazón.
Parafina, bencina, leña, gas, etc. Usada en estufas, cocinas, braseros, etc.	Gases y partículas que se generan en el uso de combustibles	Náuseas, fatiga, irritación a la vista y vías respiratorias, taquicardia e incluso la muerte por asfixia.
Plaguicidas, insecticidas, pinturas, solventes, agentes de limpieza, fijadores de pelo, etc.	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Irritación de vías respiratorias y ojos, dolor de cabeza, mareos y fatiga.
	BIOLOGICOS	
Animales, polvo de las casas, basura, etc.	Pelos y fecas de animales, materia en descomposición, ácaros de polvo y hongos.	Alergias, aumento de enfermedades respiratorias como asma y neumonitis, tuberculosis, etc.
	MINERALES	
Pinturas, pilas, etc.	Metales como plomo, mercurio, cadmio, cromo, etc. Asbesto.	Malestar intestinal, estreñimiento, anorexia, cambios de personalidad, deficiencia del aprendizaje, pérdida de la audición, problemas cardiacos, calambres, etc.

Fuente: MINSA

T. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los contaminantes atmosféricos se dividen en dos grandes grupos los primarios y secundarios, los primeros son los que se generan por procesos de combustión la quema de combustibles fósiles, las actividades industriales e incendios forestales por ejemplo los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de azufre (SO₂), material particulado; por otro lado los

secundarios son los que se generan cuando llegan a la tropósfera por ejemplo la lluvia ácida, que se forma cuando los óxidos de azufre se combinan con el agua.

El aire es un recurso natural que, así como sucede con muchos otros, recibe el embate de la contaminación generada por el hombre y también una aportación de la misma naturaleza. Esto quiere decir que además del hombre, también la naturaleza contribuye a que tengamos un aire con cierto nivel de contaminantes.

Importante resulta aclarar que la responsabilidad de los problemas actuales de contaminación atmosférica no está equitativamente distribuida entre los referidos generadores ya que la concentración poblacional en las ciudades es causa de múltiples problemas evidentes en este vital elemento. (11)

El aire en la atmósfera está compuesto natural y originalmente por diversos gases entre los cuales el nitrógeno (78%) es el predominante, siguiéndole el oxígeno (21%) y completándose con cantidades sumamente reducidas de otros gases tales como argón (0.9%), dióxido de carbono (0.03%) y otros. Además de estos gases, de manera natural, el aire también contiene diversas partículas características propias del sitio en que se encuentre un ambiente determinado y de la época anual. (11)

En el entorno de las ciudades y asentamientos humanos el aire atmosférico registra aportes de sustancias generadas por las actividades predominantes. Así se tendrán atmósferas cargadas de aromas, de colores, sabores totalmente vinculados con las materias primas, procesos y productos manejados en un sitio particular. Hay elementos que pueden estar presentes frente a los cuales los sentidos humanos no pueden ayudar a su identificación. Ciertos elementos en el aire tienen una

influencia nociva, en estos casos su identidad, análisis y medición se vuelve un factor importante para la salud.

U. POLVO RESPIRABLE

El polvo se podría definir como una cantidad de partículas sólidas dispersas en el aire y procedentes de una disgregación. El polvo susceptible de llegar hasta los alveolos pulmonares se le denomina “polvo respirable”, que lo definimos como la fracción de la nube total de polvo existente en el ambiente, que es capaz de alcanzar los alveolos pulmonares. Así definido y referido a partículas esféricas y de densidad 1, incluye el 98% de las partículas de una micra de diámetro, el 75% de las de 3,5 micrómetros de diámetro, el 50% de las de 5 micrómetros y ninguna de las que tengan un diámetro superior a 7 micrómetros. (19)

CUADRO N° 10: TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS Y LA PENETRACION PULMONAR

TAMAÑO DE PARTICULAS	CAPACIDAD DE PENETRACION PULMONAR
Mayor e igual a 50 micras	No puede inhalarse
10 – 50 micras	Retención en nariz y garganta
Menor e igual a 5 micras	Penetración hasta el alveolo pulmonar
1 micra = 0.001 mm.	

FUENTE: Contaminación en la casa (Intradomiciliaria).

Las partículas más pequeñas son las más peligrosas, permanecen más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta los lugares más profundos de los bronquios. El mayor riesgo está, pues, en el polvo que no se ve, por esto suele medirse no el total de polvo atmosférico, sino sólo el llamado «polvo respirable».

El «polvo respirable» es la fracción de polvo que puede penetrar hasta los alvéolos pulmonares.

V. MATERIAL PARTICULADO (MP)

El material particulado es una compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire las que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones.

Las partículas en suspensión en el aire son una mezcla de sustancias de distinta composición química y de diversa naturaleza física (suspensiones de sólidos o gotas de líquido) que presentan un tamaño variable que oscila desde 0,005 a 100 μm . (20)

Las partículas más perjudiciales para la salud son las de 10 micrones de diámetro, o menos ($\leq \text{PM}_{10}$), que pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón.

Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM_{10} por metro cúbico (m^3) de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM expresadas en microgramos (μ)/ m^3 . Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$ o más pequeñas).

En conjunto, las partículas pueden presentarse como hollín, nubes de polvo o neblina; aisladamente no pueden detectarse a simple vista. Los elementos que pueden encontrarse en las partículas son sumamente heterogéneos: carbón, hidrocarburos, sílice, sulfato de amonio, nitratos, metales como el plomo, hierro, aluminio o cadmio, polen, microorganismos, dioxinas, plaguicidas, etc.

Debido a que la composición de las partículas es sumamente heterogénea no puede hacerse una valoración global de su toxicidad ya que dependerá del tipo de elementos que formen parte de su composición. En general, las partículas más pequeñas tienen en su composición elementos más tóxicos, como metales pesados o compuestos orgánicos de capacidad carcinógena, como por ejemplo el benzo-a-pireno. Por tanto, las partículas finas, más pequeñas son las que tienen efectos adversos sobre la salud de la población, ya que son las que pueden llegar a los alvéolos pulmonares. (20)

Normalmente, a estas partículas se las denomina partículas totales en suspensión (TSP) y agrupa a todas las partículas con diámetro que van desde menos de 0,1 micras a 50 micras, ya que las de tamaño superior se depositan por gravedad. Las TSP se expresan como PM, materia particulada con un subíndice que hace referencia al diámetro de partícula, en peso de partículas por volumen de aire (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cuanto mayor es el tamaño de las partículas, menor es el tiempo que permanecen suspendidas en el aire y menores son las distancias capaces de recorrer.

Las partículas mayores de 10 micras caen rápidamente cerca de la fuente que las produce; las partículas PM₁₀ (con diámetro ≤ 10 micras) pueden permanecer suspendidas durante horas y viajar desde 100 metros a 40 kilómetros mientras que las partículas PM_{2,5} (con diámetro $\leq 2,5$ micras) pueden permanecer en el aire durante semanas y son capaces de trasladarse cientos de kilómetros, desplazándose con las corrientes de

aire y penetrando en el interior de los locales a través de los sistemas de ventilación. (20)

Las partículas o material particulado, puede llegar a ser un elemento importante como factor contaminante en la atmósfera de una ciudad, una zona o sitio, pueden estar depositadas sobre el suelo aunque generalmente flotan en el aire. El hecho de flotar en el aire se favorece principalmente debido a su tamaño ya que son muy pequeñas tanto que para hablar de su medida se utiliza el término micrómetro o micra, unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro. Estas dimensiones las hacen ser sumamente ligeras, aspecto que se combina con su forma y con diversos factores de tipo climático entre los cuales está la temperatura del ambiente y los vientos. (11)

Los efectos en la salud van a depender del rango de tamaño que puede considerarse peligroso en relación a originar efectos sobre la salud humana y afectar la calidad del aire que está comprendido entre 0,1 a 10 micras de diámetro ya que en general estas partículas una vez inhaladas tienen mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio. Las partículas PM10 se depositan en las vías respiratorias superiores (nariz) y en la tráquea y bronquios, mientras que las PM2,5 de menor diámetro pueden alcanzar a los bronquiolos y alvéolos pulmonares.

Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, sobre todo en personas asmáticas. Los efectos sobre la salud dependen del tipo de partícula y su facilidad de penetración en el organismo. Entre estos síntomas están:

- Irritaciones e inflamaciones de vías respiratorias y ojos, (alveolitis, bronquiolitis, fibrosis).
- Mayor incidencia y agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- Aumento de la frecuencia de cáncer pulmonar a largo plazo.

- Enfermedades infecciosas. (20)

Las partículas de fuentes móviles tienden a caer en una distribución bimodal referidas como “modo de núcleos” y “modo de acumulación”. Las partículas de modo de núcleos son de un diámetro inferior a 0,05 micrones (micrón = 1 millonésima de metro) y están generalmente compuestas de hidrocarburos, sulfuro y cenizas metálicas. Las partículas de modo de acumulación tienen un rango de tamaño desde 0,05 a 0,5 micrones y contienen carbono elemental y orgánico, nitrato, sulfato, y diferentes cenizas metálicas. (21)

Después de su emisión, las partículas experimentan reacciones químicas en el aire, por esto su composición y tamaño varían dependiendo de la proximidad a las fuentes, el clima y otros factores.

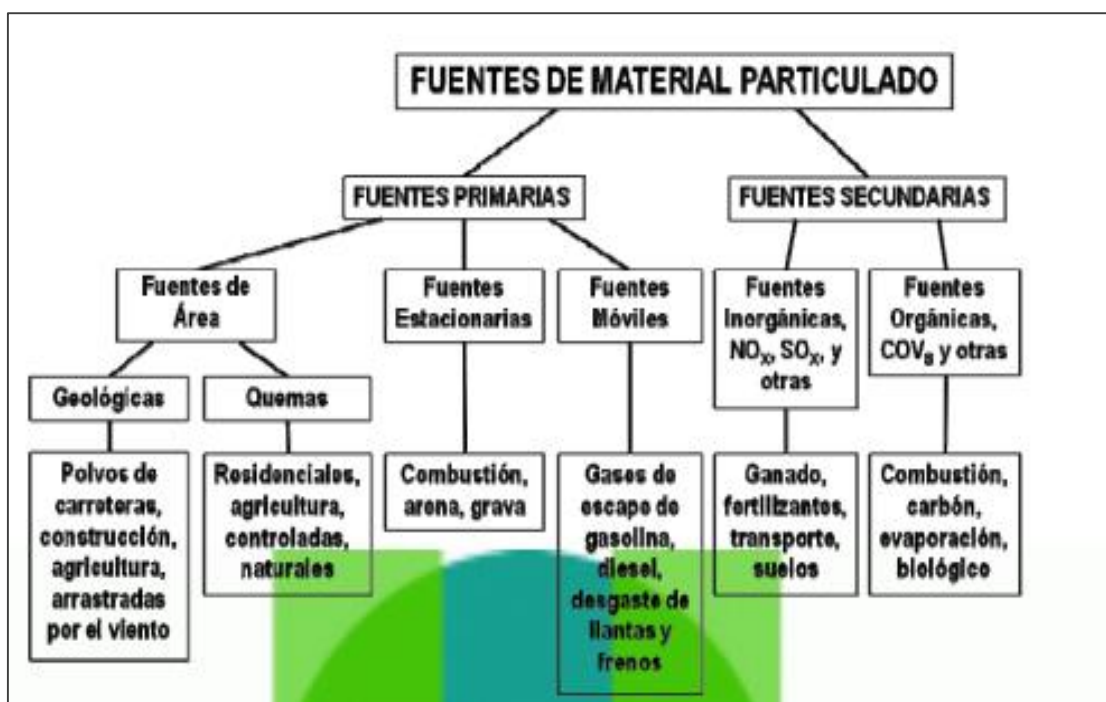
El material particulado es un problema de contaminación caracterizado por su movilidad. Cuando no hay viento, las partículas pueden permanecer en el aire durante minutos u horas, en cambio, mientras haya viento constante podrían mantenerse durante de días o semanas viajando por diversos territorios dejando rastros de su presencia en diversos sitios distintos a donde fueron originalmente generadas. Esta cualidad de permanencia en suspensión en el aire ha propiciado que el material particulado o partículas también sea conocido como partículas suspendidas. (11)

El aspecto del tamaño de las partículas es de sumo interés para entender su movilidad y sus perjuicios a la salud. La clasificación en base al tamaño se ha dividido en dos grupos principales: las grandes, o fracción gruesa, señaladas como PM10 cuyo tamaño está entre los 2.5 -10 micrómetros; y las pequeñas, fracción fina, PM2.5 menores a los 2.5 micrómetros. (11)

Al inhalar se introduce aire a los pulmones, si en el aire hay partículas éstas entrarán directamente al sistema respiratorio a pesar de que el cuerpo humano cuenta con diversos mecanismos de protección natural a largo del sistema respiratorio. Un ambiente contaminado va minando paulatinamente estas defensas, sobretodo es de considerar que en promedio un adulto inhala entre 10,000 y 12,000 litros de aire. Ya en el interior del cuerpo, las partículas se adhieren a las paredes de las vías respiratorias y algunas llegan a alojarse en el interior de las paredes de los pulmones. Mientras mayor sea la penetración de las partículas en el aparato respiratorio, tanto en el aspecto cuantitativo como cualitativo, los perjuicios serán mayores debido a que el organismo carece de suficientes mecanismos de eliminación de estos contaminantes, sobre todo cuando la permanencia en ambientes contaminados es constante. En base a lo anterior, las enfermedades de tipo respiratorio se incrementan notablemente en la población expuesta de manera persistente a la presencia de este factor contaminante.

Las PM o material particulado, forma parte de los denominados contaminantes criterio que son los considerados como de mayor impacto en la salud humana, por lo cual, se ha generado una normatividad donde se marcan límites permisibles de concentración en un período de tiempo buscando reducir sus efectos nocivos. Para la prevención de los efectos nocivos sobre la salud humana se emitieron una serie de normas para cada uno de los contaminantes criterio. En el caso del material particulado se emitió la norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-1993. En la norma de referencia se establecen claramente los valores límites normados para los contaminantes. (11)

GRAFICO N° 05: CLASIFICACION DE LAS FUENTES DE MATERIAL PARTICULADO DE ORIGEN ANTRÓPICO



FUENTE: EVALUACIÓN DEL RIESGO POR EMISIONES DE PARTÍCULAS EN FUENTES ESTACIONARIAS DE COMBUSTIÓN; ESTUDIO DE CASO: BOGOTÁ, 2006 Allen D., 2002.

En el grafico se presenta un panorama de la influencia del hombre en el material particulado en la atmósfera propiciado principalmente por la interacción de las actividades productivas en un medio determinado.

El efecto de las partículas en la salud depende de su composición química, pueden producir irritación de las vías respiratorias, agravar el asma y favorecer las enfermedades cardiovasculares. En el corto plazo la contaminación por PM10 puede causar el deterioro de la función respiratoria. En el largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, con el cáncer o con la muerte prematura. (11)

CUADRO N° 11: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL MATERIAL PARTICULADO

TAMAÑO DE PARTICULA	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
MP 2.5	10 ug/m3, media anual 25 ug/m3, media de 24 horas
MP 10	10 ug/m3, media anual 50 ug/m3, media de 24 horas

Fuente: Guías de calidad del aire y su fundamento: OMS, 2005

Las partículas ambientales generalmente caen dentro de una distribución de tres modos: ultrafino (< 0,1micrones), fino (entre 0.1 y 1 micrones), y grueso (>1 micrones). La Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos y otras agencias alrededor del mundo regulan el nivel de partículas en el ambiente de un diámetro inferior a 10 micrones (MP₁₀). Algunas agencias, incluyendo la EPA de Estados Unidos, también regulan las partículas inferiores a 2,5 micrones de diámetro (MP_{2.5}). (23)

**CUADRO N° 12: VALORES FIJADOS EN LAS DIRECTRICES DE LA
OMS**

TAMAÑO DE PARTICULA	VALORES LIMITE PERMISIBLES
PM _{2.5}	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h
PM ₁₀	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h

FUENTE: Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire

Además de los valores, las Directrices sobre la Calidad del Aire establecen metas intermedias para concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} destinadas a promover una reducción gradual, de concentraciones altas a otras más bajas.

Si se alcanzaran esas metas intermedias se podrían esperar reducciones importantes de los riesgos de enfermedades agudas y crónicas derivadas de la contaminación del aire. No obstante, los valores establecidos en las Directrices deberían ser el objetivo final.

Los efectos sanitarios de las partículas provienen de la exposición que actualmente experimentan muchas personas, tanto en las zonas urbanas como rurales, bien sea en los países desarrollados o en los países en

desarrollo, aun cuando la exposición en muchas ciudades en rápido desarrollo suele ser actualmente muchísimo más alta que en ciudades desarrolladas de tamaño comparable.

En las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire* se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM10) de 70 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses.

En los países en desarrollo, la exposición a contaminantes en el interior de las viviendas como consecuencia del uso de combustibles sólidos en estufas abiertas o cocinas tradicionales incrementa el riesgo de infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, así como las tasas de mortalidad conexas entre los niños pequeños; la contaminación del aire interior derivada del uso de combustibles sólidos es también un importante factor de riesgo de cardiopatías, neumopatías obstructivas crónicas y cáncer de pulmón en los adultos. (24)

Existen graves riesgos sanitarios no sólo por exposición a las partículas, sino también al ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). Como en el caso de las partículas, las concentraciones más elevadas suelen encontrarse en las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos. El ozono es un importante factor de mortalidad y morbilidad por

asma, mientras que el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre pueden tener influencia en el asma, los síntomas bronquiales, las alveolitis y la insuficiencia respiratoria

- **MATERIAL PARTICULADO 10 (MP10)**

Son partículas que se encuentran dispersas en el aire y cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 micrómetros (un micrón es la milésima parte de un milímetro).

Estas partículas se encuentran flotando en el aire y pueden ser sólidas o líquidas, orgánicas e inorgánicas siendo su origen mayoritariamente natural las mismas que debido a su pequeño tamaño tienen una velocidad de sedimentación muy baja pudiendo mantenerse en el aire por mucho tiempo y logrando alcanzar distancias de hasta 30 millones con referencia a su lugar de emisión. Las mismas que al ser inhaladas afectan la salud de las personas penetrando en las vías respiratorias pudiendo en su camino adherirse a sus paredes y ocasionar síntomas respiratorios severos (tos, dificultad para respirar, agrava el asma) y llegar hasta los pulmones produciendo enfisemas o cáncer pulmonar. También producen alteraciones en coagulación de la sangre y en la mayor incidencia en el desarrollo de las enfermedades cardíacas.

Las PM₁₀ al ser inhaladas penetran con facilidad en el sistema respiratorio, causando efectos adversos a la salud respiratoria; siendo los más dañinos los producidos por los metales pesados y compuestos orgánicos que pueden causar enfermedades como el cáncer.

Las PM₁₀ causan enfermedades respiratorias de tipo cardiovascular, y cáncer de pulmón; la exposición a partículas en suspensión puede reducir la esperanza de vida de dos años. Los efectos a la salud pueden ser tos, dificultad para respirar, agravado del asma, disminución de la función del pulmón y enfermedades respiratorias, muerte prematura en individuos con enfermedades cardiovasculares. (25) (26)

- **MATERIAL PARTICULADO 2.5 (MP_{2.5})**

Es el material particulado respirable disperso en la atmosfera con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}).

Estas partículas, ingresan con mayor facilidad a los pulmones, son partículas muchísimo más pequeñas que la pelusa que vemos a la luz del sol y pueden llegar al torrente sanguíneo. Las fuentes de partículas finas incluyen la combustión en vehículos, generadores, quema de madera, procesos industriales; las partículas entre 2.5 y 10 micrómetros de diámetro tienen su origen en polvos que se levanta en las vías de tránsito no pavimentados; las partículas finas pueden acumularse en el sistema respiratorio; la exposición a partículas gruesas puede agravar el asma y bronquitis crónica, mientras que el material fino asociarse con efectos graves. (27)

- **MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN**

Los efectos del MPS en los seres humanos dependen del tamaño y concentración de las partículas y pueden variar según las fluctuaciones diarias de los niveles de MP10 o MP2,5. Estos incluyen efectos agudos como el aumento de la mortalidad diaria, el incremento en las tasas de admisiones hospitalarias debido a la exacerbación de enfermedades respiratorias y las fluctuaciones en la frecuencia del uso de broncodilatadores y en la prevalencia de tos. Si bien los efectos de largo plazo del MPS también se refieren a la mortalidad y morbilidad respiratoria, existen solo unos cuantos estudios sobre los efectos de largo plazo del MPS. Se considera que la contaminación del aire por el material particulado es un fenómeno principalmente urbano. No obstante, ahora está claro que en muchas áreas de los países desarrollados hay poca o ninguna diferencia entre las zonas urbanas y rurales en relación con los

niveles de MP10, lo que indica que la exposición al MP es generalizada. Esto no significa que la exposición al MP primario, relacionado con la combustión, no sea mayor en las zonas urbanas. Existen varios métodos para medir las diferentes fracciones del material particulado en el aire, con diferentes niveles de importancia para la salud. Esta evaluación se ha centrado en estudios en los que la exposición al MP se expresó como MP10 y MP2,5. Los estudios sobre los efectos de salud realizados con varias partículas suspendidas totales (PST) y humo negro (HN) como indicadores de exposición han proporcionado valiosa información adicional. Sin embargo, estos estudios no son tan apropiados para derivar las relaciones de exposición-respuesta para el MP dado que las PST incluyen partículas que son demasiado grandes para ser inhaladas y porque aún no se ha determinado la importancia para la salud de la opacidad de la partícula medida por el método del humo negro.

Los estudios epidemiológicos de series temporales disponibles no permiten definir un umbral debajo del cual no se produce ningún efecto. Estudios recientes sugieren que la exposición de corto plazo está relacionada con efectos a la salud incluso en niveles bajos de MP (menos de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En niveles bajos de MP10 (de 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), la curva de exposición de corto plazo-respuesta se aproxima razonablemente a una línea recta. Sin embargo, varios estudios indican que a niveles más altos de exposición (cientos de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10), al menos para efectos sobre la mortalidad, la curva es más plana que en niveles bajos de exposición. Si bien muchos estudios han permitido obtener estimados sobre los efectos agudos del MP10 razonablemente uniformes, la composición o distribución de tamaños de la partícula dentro de la fracción MP10 no dejan de ser importantes. Evidencia limitada proveniente de algunos estudios sobre las tormentas de polvo indica que tales partículas de MP10 son bastante menos tóxicas que las asociadas con fuentes de combustión. Estudios recientes, que han medido fracciones o componentes de MP10, sugieren que los efectos observados de MP10

están asociados en gran medida con las partículas finas y no con las gruesas (MP10 menos MP2,5). En algunas áreas, los efectos asociados al MP2,5 se pueden atribuir a la fuerte acidez de los aerosoles o a la concentración de sulfato. Evidencia reciente indica también que la exposición de largo plazo a bajas concentraciones de MP en el aire está asociada con la mortalidad y con otros efectos crónicos como mayores tasas de bronquitis y la reducción de la función pulmonar.

Dos estudios de cohorte realizados en Estados Unidos sugieren que la esperanza de vida de comunidades con altos índices de MP puede ser de 2 a 3 años menor que en las comunidades con bajas concentraciones de MP. Esto concuerda con algunos estudios transversales realizados anteriormente, que compararon las tasas de mortalidad de acuerdo con las edades a través de un rango de concentraciones promedio de MP en el largo plazo. Los resultados mostraron que las exposiciones promedio de largo plazo a bajos niveles de MP, a partir de aproximadamente 10 µg/m³ de partículas finas, estaban relacionadas con la reducción de la esperanza de vida. Si bien aún falta corroborar estas observaciones, de preferencia también en otras áreas del mundo, estos nuevos estudios sugieren que las implicancias de la exposición al MP para la salud pública pueden ser amplias.

La base de datos disponible para parámetros diferentes de MP10 todavía es limitada. Por lo tanto, la evaluación de los efectos sobre la salud, especialmente los de corto plazo, se expresa principalmente en términos de MP10. No obstante, los reglamentos y las actividades de monitoreo que se desarrollen en el futuro deben dar énfasis a las partículas ultrafinas y finas además del MP10, e incluso en lugar de él. (12)

- **EFFECTOS SOBRE LA SALUD**

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM10 y PM2.5) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios. Esto permite a las instancias normativas efectuar proyecciones relativas al mejoramiento de la salud de la población que se podría esperar si se redujera la contaminación del aire con partículas.

La contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Por consiguiente, los límites de la directriz de 2005 de la OMS se orientan a lograr las concentraciones de partículas más bajas posibles.

- **ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LOS EDIFICIOS, SÍNTOMAS RELACIONADOS CON LOS EDIFICIOS, SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO, Y SENSIBILIDAD QUÍMICA MÚLTIPLE**

No existe una clara distinción entre salud y confort, y tal vez no sea apropiado trazarla. Las enfermedades relacionadas con los edificios son específicas como, por ejemplo, la enfermedad del legionario, que pueden rastrearse a una única fuente o causa.

Entre los síntomas relacionados con los edificios se puede mencionar:

- Síntomas presentes en la membrana mucosa (nariz tapada o con secreciones, sequedad de la garganta, rinitis, estornudos, ojos secos).

- cefalea, confusión, dificultades para pensar o concentrarse, fatiga
- tos, respiración sibilante, asma, infecciones respiratorias frecuentes
- reacciones alérgicas; sequedad de la piel La denominación "síndrome del edificio enfermo" (SBS) se emplea para describir situaciones en las que los ocupantes de un edificio experimentan síntomas agudos asociados con la salud y el confort, que parecen estar vinculados al tiempo que han pasado en el edificio, si bien con frecuencia no se puede identificar una causa específica. Los problemas pueden circunscribirse a una zona en particular o bien, pueden ser generalizados en todo el edificio. El SBS es lo suficientemente común y ha sido lo suficientemente descrito como para ser considerado una entidad definida por parte de la medicina y de la arquitectura. Para complicar aún más los análisis, hay quien parece ser especialmente sensible a una amplia gama de contaminantes ambientales a concentraciones relativamente bajas. En algunos de estos individuos, el diagnóstico de sensibilidad química múltiple (MCS) sugiere que es virtualmente imposible separar las evaluaciones de la calidad de la atmósfera interior de la vulnerabilidad única que presentan ciertos ocupantes del edificio.

La fisiopatología del MCS es vaga y controvertida, si bien la base de datos científicos cada vez más sólidamente fundados respalda la importancia de este fenómeno. (National Research Council). Por ende, es difícil trazar una clara línea divisoria entre una atmósfera interior poco saludable y una situación en la cual un subgrupo de los ocupantes del edificio parece presentar una mayor sensibilidad a los niveles más usuales – si bien frecuentemente mal definidos - de contaminantes ambientales. (28)

- DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE LA ATMÓSFERA INTERIOR, EL CONFORT Y LA SALUD, RELACIONADOS CON EL EDIFICIO

Emisiones y reactividad de los materiales de construcción:

Las condiciones de operación del edificio y los productos empleados en su diseño y operación crean un ambiente en el que se pueden producir emisiones y reacciones químicas complejas. Las emisiones directas de los materiales de construcción (emisiones primarias) alcanzan, en general, su nivel más alto poco después de su fabricación y de su uso en construcción, y a partir de ese momento comienzan a declinar. Las emisiones secundarias son causadas por el efecto de otras sustancias o actividades en el material en cuestión. Por ejemplo, la humedad, las sustancias alcalinas en el hormigón, el ozono proveniente del equipo eléctrico o las sustancias de limpieza pueden influir en las emisiones provenientes de los materiales de construcción. Las emisiones secundarias pueden ser un problema de índole crónica.

Las superficies más frías de una pared pueden aumentar su nivel de humedad relativa local, facilitando las emisiones generadas por el material cubritivo de la pared. La humedad en los pisos de hormigón facilita la degradación por sustancias alcalinas del di-etil-hexil-ftalato (DEHP), un plastificante empleado en los pisos de policloruro de vinilo (PVC) y en otros productos de este material. El ozono que entra desde el exterior o que es emitido por fotocopiadoras e impresoras láser puede reaccionar con los enlaces dobles no saturados presentes en diversos polímeros, produciendo aldehídos y cetonas. Estas emisiones secundarias pueden ser altamente reactivas e irritar la piel y las membranas mucosas de quienes ocupan estos edificios.

Los óxidos de nitrógeno provenientes del exterior o generados por fotocopiadoras e impresoras láser también pueden reaccionar con una variedad de compuestos orgánicos volátiles y así formar compuestos irritantes, incluyendo aldehídos. También se forman radicales libres altamente reactivos gracias a las reacciones del NO₂ y el ozono con compuestos no saturados. Muchos de estos compuestos son difíciles de medir, pero aún así pueden ser sumamente relevantes en términos de sus efectos sobre la salud.

Contaminantes presentes en la atmósfera interior asociados con la operación y el mantenimiento de edificios:

Las decisiones sobre el diseño del edificio también pueden influir sobre qué productos se emplean para la operación y el mantenimiento de rutina que a su vez también tendrán efecto en la calidad de la atmósfera interior. Algunos productos de limpieza contienen sustancias sensibilizantes o irritantes para las vías respiratorias. Aún los productos de limpieza promocionados como "más ecológicos" suelen contener sustancias de base cítrica o de pino que pueden, por sí solas o debido a una reacción con ciertos oxidantes como el ozono, contribuir a la contaminación de la atmósfera interior.

Los ocupantes de aquellos edificios aseados más de una vez por semana tienden a declarar menos síntomas relacionados con el edificio.

El diseño del edificio y de las áreas verdes circundantes puede influir en la probabilidad de ocurrencia de plagas en el interior del edificio. La aplicación rutinaria de estrategias integradas para el control de plagas puede reducir el uso de plaguicidas dentro y fuera del edificio, contribuyendo así a una mejor calidad ambiental dentro del edificio.

Ventilación

Una velocidad de ventilación alta o baja puede tener un efecto significativo en los síntomas. Existen pruebas limitadas que sugieren que

aumentar la velocidad de ventilación hasta 10 L/s por persona puede ser efectivo para reducir la prevalencia de síntomas y la insatisfacción de los ocupantes con la calidad del aire; también sugieren que las velocidades superiores no son efectivas. Pero debido a las complejas relaciones entre velocidades de ventilación, niveles de contaminantes, y problemas de salud relacionados con los edificios o satisfacción con la calidad del aire, el uso de la ventilación como medida para mitigar los problemas referentes a la calidad del aire se debería analizar a la luz de una comprensión de sus límites.

Humedad

La humedad en los edificios puede favorecer el crecimiento de moho, sobre todo sobre superficies que contengan sustancias orgánicas que puedan servir como fuente de nutrientes. Los sistemas HVAC (ventilación, calefacción y aire acondicionado) también pueden emitir MVOC. Fung y Hughson revisaron todos los estudios en idioma inglés (n=28) publicados entre 1966 y 2002 sobre exposición a moho en ambientes cerrados y sus efectos sobre la salud humana. Llegaron a la conclusión que la humedad excesiva promueve el crecimiento de moho y se asocia con una mayor prevalencia de síntomas debido a irritación, alergias e infecciones. No obstante, los métodos para evaluar la exposición y los efectos sobre la salud no han sido adecuadamente normalizados.

Materiales superficiales

Diversos estudios muestran una correlación entre ciertos materiales empleados en superficies dentro de ambientes cerrados y el riesgo de asma, respiración sibilante o alergia. Entre los materiales que pueden vincularse causalmente con dichos síntomas se pueden mencionar los pisos y paredes de PVC, el linóleo nuevo, las alfombras sintéticas y el aglomerado. (Jaakkola, 2004). Se ha informado, en niños, un mayor riesgo de obstrucciones bronquiales, respiración sibilante y síntomas de

alergia en asociación con superficies de PVC y de materiales que lo contienen como plastificante.

Contaminación del aire con material particulado

El material particulado que contamina las atmósferas interiores puede ser de tamaño y composición variable. Las partículas pueden contribuir a la aparición de síntomas relacionados con los edificios en quienes los ocupan, pero no se sabe a ciencia cierta cuál es la contribución relativa del tamaño, la masa y la composición de las partículas. El pulido de pisos a alta velocidad puede contribuir significativamente a la generación de partículas en suspensión, dependiendo del equipo empleado y de la naturaleza del material superficial. (28)

- EFECTOS SOBRE LA SALUD MÁS ALLÁ DE LOS EDIFICIOS

También es importante reconocer que las elecciones referentes al diseño, la construcción y la operación de los hospitales puede tener un amplio efecto en la salud y el medio ambiente, desde el consumo de agua y energía hasta el transporte de materiales y las cuestiones referentes a la salud laboral, pasando por toda la cadena de abastecimiento de los materiales.

La liberación de contaminantes ambientales relacionada con las prácticas de extracción, fabricación y disposición de materiales puede tener consecuencias para la salud pública y del medio ambiente a nivel regional e incluso mundial.

Los diseñadores de edificios tienen la oportunidad de ejercer una influencia en la salud del trabajador y en la salud pública y del medio ambiente a través de una selección informada de materiales y de la consideración de las cuestiones relacionadas con el bienestar del trabajador y la justicia social.

Asimismo, es esencial comenzar a ocuparse explícitamente del efecto a largo plazo en la salud pública y ambiental de las mismas prácticas para

la atención de la salud. Dichas actividades rara vez son objeto del mismo escrutinio con que analizamos la infraestructura edilicia.

En los Estados Unidos, los gastos en atención de la salud representan cerca de 15 % del PBN. Esta cantidad crece año a año y gran parte de este crecimiento se puede atribuir al desarrollo de nuevas tecnologías, cada una con sus propias consecuencias para la salud pública y ambiental.

La extracción de recursos, la fabricación de materiales y la disposición de residuos son responsables de la mayor parte de los efectos que tienen los seres humanos en la naturaleza. La escala de las actividades relacionadas con la atención de la salud y los efectos de los flujos de materiales relacionados durante todo el ciclo de vida contribuyen sustancialmente a la degradación del medio ambiente. El equipamiento de alta tecnología, los productos farmacéuticos, el transporte y el consumo de agua y electricidad dentro del ámbito del cuidado de la salud tienen importantes efectos sobre el medio ambiente. A pesar de la determinación de crecer que tienen muchos países, se debe recortar drásticamente la producción de materiales a fin de alcanzar la sustentabilidad. El sistema de atención de la salud debe hacerse cargo de su parte.

Pierce and Jameton han planteado una sólida postura en favor de la responsabilidad ética propia del cuidado de la salud. (Pierce y Jameton, 2004). Las mejoras marginales en las políticas de materiales podrían ser de ayuda, pero también se requiere un reexamen fundamental del alcance de los servicios clínicos. El mismo podría resultar inevitablemente en problemas relacionados con la racionalización, pero ésta, según Pierce y Jameton, no debería considerarse como un servicio inferior al óptimo sino como un servicio óptimo y sustentable, si es que la industria de la atención de la salud pretende asumir su responsabilidad para con el medio ambiente. (28)

- LA VENTILACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN LOS AMBIENTES INTERIORES

Se entiende por ventilación el proceso de suministrar aire limpio (aire exterior) y eliminar aire viciado, por medios naturales y/o mecánicos, para proporcionar el oxígeno necesario para la respiración, diluir los contaminantes y, cuando es posible, controlar la temperatura y la humedad del interior de un recinto.

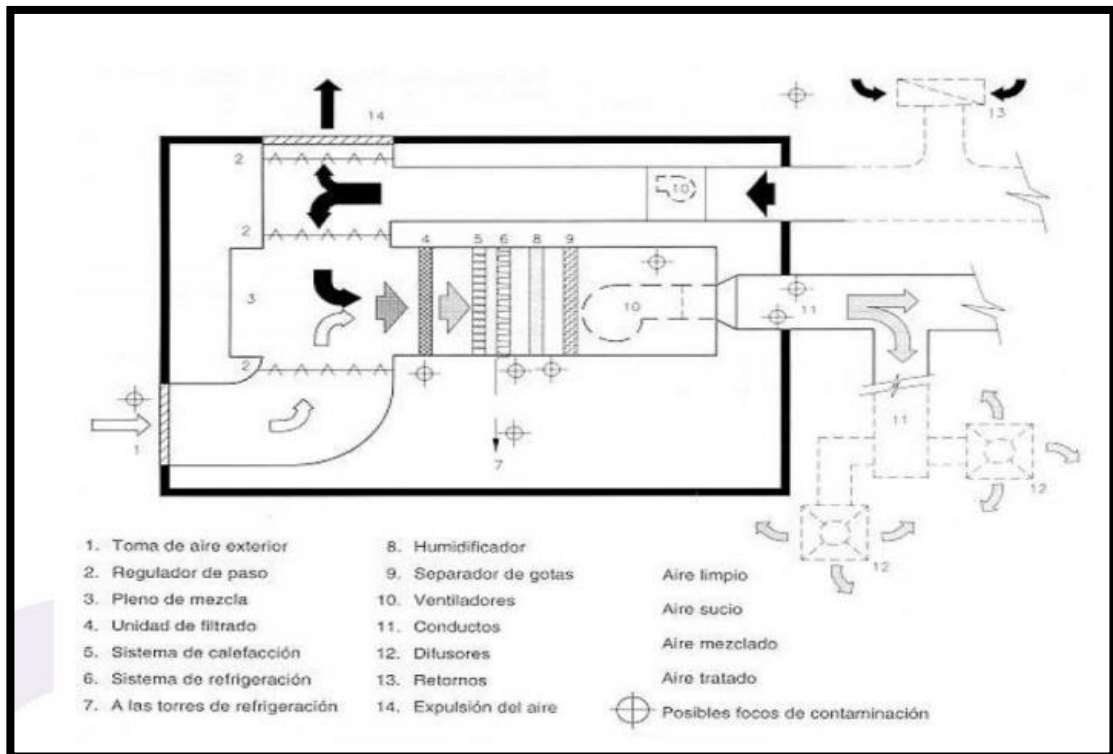
En CAI la ventilación cobra una importancia vital, ya que una ventilación deficiente puede originar numerosos problemas de CAI y, de la misma manera, numerosos problemas de CAI pueden solventarse a través de una correcta ventilación.

La ventilación de un espacio interior va a influir sobre factores de diversa naturaleza, principalmente química y biológica (su función principal es proporcionar el oxígeno necesario para la respiración y diluir los contaminantes), pero también física (y, cuando es posible, controlar la temperatura y la humedad).

La ventilación natural es la que tiene lugar a través de las ventanas, puertas e incluso las rendijas y grietas del edificio, y ocurre gracias a las diferencias de presión o de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios. La ventilación mecánica o forzada requiere un sistema de conductos que transporte el aire de ventilación hasta los recintos a ventilar y ventiladores que lo impulsen a través de los mismos.

Tanto la ventilación natural como la mecánica, además de proporcionar oxígeno y diluir los contaminantes, pueden ayudar a modificar las condiciones termohigrométricas de un local. En el caso de la ventilación mecánica, para suministrar aire tratado, limpio y con una temperatura y humedad determinadas, normalmente se utiliza un mismo sistema, el sistema de ventilación-climatización. Otras veces el sistema de climatización o de acondicionamiento del aire es independiente del de ventilación.

GRAFICO N° 06: ESQUEMA DE UN SISTEMA DE VENTILACION - CLIMATIZACION



FUENTE: aspectos técnicos de la calidad de ambientes interiores edificios saludables pdf parte 2

Un sistema de ventilación o de ventilación-climatización requiere un mantenimiento continuo (motores, cambio y limpieza de filtros, control de las bacterias en las torres de refrigeración, etc.), ya que si no puede ser origen de múltiples problemas: ruido, vibraciones, diseminación de contaminantes por rebasamiento de los filtros, legionelosis, etc.

En general, lo ideal para evitar problemas es disponer tanto de ventilación mecánica como natural. La masiva construcción de edificios herméticos a partir de los años 70, en los que no hay ventanas practicables y la ventilación es forzada, ha hecho que se multipliquen los problemas derivados de una mala calidad del ambiente interior. En unos casos, para ahorrar energía, el aire de ventilación tiene menos proporción de aire limpio

de lo que debiera. En otros, el sistema está mal diseñado para el uso que finalmente se le da al edificio o no se somete al mantenimiento y limpieza que debiera.

Aunque los problemas de calidad del ambiente en interiores se dan con mucha mayor frecuencia en los edificios con ventilación mecánica, también en los que tienen ventilación natural puede haber este tipo de problemas. Por ejemplo, con la ventilación natural no siempre puede asegurarse una buena distribución del aire limpio por todo el local. Además, no se puede modificar la calidad del aire de ventilación, que puede ser mala si el edificio está situado en una zona contaminada.

Los principales problemas relacionados con la ventilación suelen estar relacionados con:

- **Suministro insuficiente de aire exterior:** En el caso de los sistemas mecánicos se suele recircular parte del aire extraído del recinto y mezclarlo con aire limpio (exterior) que vuelve a entrar en el sistema. Muy frecuentemente, la proporción de aire recirculado es excesiva.

- **Mala distribución del aire:** Esto ocurre cuando las ventanas (ventilación natural) o los difusores de aire (ventilación mecánica) no están distribuidos de manera uniforme o adecuada en relación con la distribución de los trabajadores.

- **Ubicación inadecuada de las tomas de aire exterior:** La norma UNE-EN 13779 recomienda que se sitúen en la parte más alta de los edificios, expuestas al viento. Es importante que, tanto las tomas de aire exterior en sistemas mecánicos como las ventanas abiertas, no tengan próximos ningún foco de contaminación importante (salidas de humos de garajes o cocinas, obras, basuras, etc.).

- **Mantenimiento y limpieza insuficientes** de los sistemas mecánicos de ventilación. (Conductos, filtros, etc.).

W. LEGISLACIÓN AMBIENTAL PERUANA - CALIDAD AMBIENTAL

Se puede defender el concepto “calidad ambiental” como el conjunto de características del ambiente, en función a la disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos. Todo esto necesario para el mantenimiento y crecimiento de la calidad de vida de los seres humanos. Asociados a este concepto, se encuentran los términos “estándar de calidad ambiental” y “límite máximo permisible”, instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas. Un Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de contracción o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

De **otro lado los Límites Máximos Permisibles (LMP)** son definidos por la legislación ambiental peruana como “la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente”. La característica más importante de los LMP, es que su cumplimiento es exigible legalmente; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción.

a. DATOS DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

- La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud; mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.
- Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.
- *Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire* ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud.
- Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras.
- Un 88% de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental de la OMS.
- Las políticas y las inversiones de apoyo a medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, generación de electricidad y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire en las ciudades.

- La reducción de las emisiones domésticas derivadas de sistemas energéticos basados en el carbón y la biomasa, así como de la incineración de desechos agrícolas (por ejemplo, la producción de carbón vegetal), permitiría limitar importantes fuentes de contaminación del aire en zonas periurbanas y rurales de las regiones en desarrollo.
- La disminución de la contaminación del aire reduce las emisiones de CO₂ y de contaminantes de corta vida tales como las partículas de carbono negro y el metano, y de ese modo contribuye a mitigar el cambio climático a corto y largo plazo.
- Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo sanitario para unos 3.000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. (24)

b. ESTIMACIONES DE LA OMS SOBRE CALIDAD DE AIRE INTERIOR, EXTERIOR Y SALUD

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo.

Según las últimas estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios mundiales, comparable a los riesgos relacionados con el tabaco y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición.

La OMS estima que un 80% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% se deben a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores y un 6% a cáncer de pulmón.

Una evaluación de 2013 realizada por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga.

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras; esta mortalidad se debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer.

Los habitantes de países de ingresos bajos y medianos sufren desproporcionadamente la carga de morbilidad derivada de la contaminación del aire exterior, lo que se constata por el hecho de que el 88% de los 3,7 millones de defunciones prematuras, se producen en esos países y la mayor carga de morbilidad se registra en las regiones del Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental de la OMS. Las últimas estimaciones de la carga de morbilidad reflejan el importantísimo papel que cabe a la contaminación del aire en las cardiopatías y las defunciones prematuras; mucho más de lo que creían los científicos anteriormente.

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura.

Existen numerosos ejemplos de políticas fructíferas relativas a los sectores de transporte, planificación urbana, generación de electricidad e industria, que permiten reducir la contaminación del aire:

- **industria:** utilización de tecnologías limpias que reduzcan las emisiones de chimeneas industriales; gestión mejorada de desechos urbanos y agrícolas, incluida la recuperación del gas metano de los vertederos como una alternativa a la incineración (para utilizarlo como biogás)
- **transporte:** adopción de métodos limpios de generación de electricidad; priorización del transporte urbano rápido, las sendas peatonales y de bicicletas en las ciudades y el transporte interurbano de cargas y pasajeros por ferrocarril; utilización de vehículos pesados de motor diésel más limpios y vehículos y combustibles de bajas emisiones, especialmente combustibles con bajo contenido de azufre
- **planificación urbana:** mejoramiento de la eficiencia energética de los edificios y concentración de las ciudades para lograr una mayor eficiencia
- **generación de electricidad:** aumento del uso de combustibles de bajas emisiones y fuentes de energía renovable sin combustión (solar, eólica o hidroeléctrica); generación conjunta de calor y electricidad; y generación distribuida de energía (por ejemplo, generación de electricidad mediante redes pequeñas y paneles solares).

- **gestión de desechos municipales y agrícolas:** estrategias de reducción, separación, reciclado y reutilización o reelaboración de desechos, así como métodos mejorados de gestión biológica de desechos tales como la digestión anaeróbica para producir biogás, mediante métodos viables y alternativas económicas en sustitución de la incineración de desechos sólidos. En casos en que la incineración sea inevitable, será crucial la utilización de tecnologías de combustión con rigurosos controles de emisión.

Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo para la salud de unos 3.000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. Unos 4,3 millones de defunciones prematuras ocurridas en 2012 eran atribuibles a la contaminación del aire en los hogares. Casi todas se produjeron en países de ingresos bajos y medianos.

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM10) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a:

- partículas (PM)
- ozono (O₃)

- dióxido de nitrógeno (NO₂) y
- dióxido de azufre (SO₂), en todas las regiones de la OMS. (24)

c. RESPUESTA DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)

- La OMS desarrolla y elabora directrices sobre la calidad del aire en las que recomienda límites máximos de exposición a los principales contaminantes del aire.
- La OMS realiza evaluaciones sanitarias minuciosas de diferentes tipos de contaminantes atmosféricos, incluidas las partículas, el carbono negro, el ozono, etc.
- La OMS obtiene pruebas científicas relativas a la relación entre la contaminación del aire y determinadas enfermedades, incluidas cardiopatías, neumopatías y cánceres, y realiza estimaciones de la carga de morbilidad mundial y regional derivada de la exposición actual a la contaminación del aire.
- En la serie *Health in the Green Economy*, publicada por la OMS, se evalúan los beneficios sanitarios asociados a las medidas relativas a mitigación del clima y eficiencia energética que permiten reducir la contaminación del aire derivada de la actividad doméstica, el transporte y otros sectores económicos principales.
- En *Measuring health gains from sustainable development*, la OMS propuso establecer indicadores de la contaminación del aire que sirvieran de marcadores del progreso hacia los objetivos de desarrollo sostenible en las ciudades y el sector energético.

- La OMS presta asistencia a los Estados Miembros en relación con el intercambio de información sobre enfoques fructíferos concernientes a métodos de evaluación de la exposición y seguimiento de las consecuencias sanitarias de la contaminación.
- El *Programa Paneuropeo de Transporte, Salud y Medio Ambiente* patrocinado por la OMS ha desarrollado un modelo de cooperación regional y multisectorial entre los Estados Miembros, con el fin de mitigar la contaminación del aire y las consecuencias sanitarias relacionadas con el sector del transporte, y ha elaborado instrumentos de evaluación de los beneficios sanitarios derivados de esas medidas de mitigación. (24)

X. REGLAMENTO DE ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

Que la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece la responsabilidad del Estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación:

Que, el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en su Título Preliminar, Artículo 1° establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

Que, siendo los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación del aire sobre la base de una estrategia destinada a

proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible.

Que, de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, Decreto Supremo N° 044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual 1999, para Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental “Estándares de Calidad del Aire” - GESTA AIRE, con la participación de 20 instituciones públicas y privadas que ha cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire bajo la coordinación del Consejo Nacional del Ambiente.

Que, con fecha 8 de diciembre de 1999, fue publicada en El Peruano la Resolución Presidencial N° 078-99-CONAM-PCD, conteniendo la propuesta de Estándares nacionales de calidad ambiental del aire acompañada de la justificación correspondiente, habiéndose recibido observaciones y sugerencias las que se han incorporado dentro del proyecto definitivo, el que fue remitido a la Presidencia de Consejo de Ministros;

a. OBJETIVO, PRINCIPIOS Y DEFINICIONES

Artículo 1.- Objetivo.- Para proteger la salud, la presente norma establece los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los lineamientos de estrategia para alcanzarlos progresivamente.

Artículo 2.- Principios.- Con el propósito de promover que las políticas públicas e inversiones públicas y privadas contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire se tomarán en cuenta las disposiciones del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, así como los siguientes principios generales:

- a) La protección de la calidad del aire es obligación de todos
- b) Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo - beneficio
- c) La información y educación a la población respecto de las prácticas que mejoran o deterioran la calidad del aire serán constantes, confiables y oportunas.

Artículo 3.- Definiciones.- Para los efectos de la presente norma se considera:

a) Análisis costo – beneficio.- Estudio que establece los beneficios y costos de la implementación de las medidas que integrarían los Planes de Acción. Dicho estudio considerará los aspectos de salud, socioeconómicos y ambientales.

b) Contaminante del aire.- Sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humanos.

c) Estándares de Calidad del Aire.- Aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la presente norma. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios.

d) Forma del Estándar.- Descripción de la manera como se formulan los valores medidos mediante la metodología de monitoreo aprobada durante los períodos de medición establecidos.

e) Gesta Zonal de Aire.- Grupo de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire encargado de formular y evaluar los planes de acción

para el mejoramiento de la calidad del aire en una Zona de Atención Prioritaria

b. ESTÁNDARES PRIMARIOS DE CALIDAD DEL AIRE

Artículo 4.- Estándares Primarios de Calidad del Aire.- Los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

- a) Dióxido de Azufre (SO₂)
- b) Material Particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM-10)
- c) Monóxido de Carbono (CO)
- d) Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- e) Ozono (O₃)
- f) Plomo (Pb)
- g) Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Deberá realizarse el monitoreo periódico del Material Particulado con diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros (PM-2.5) con el objeto de establecer su correlación con el PM10. Asimismo, deberán realizarse estudios semestrales de especiación del PM10 para determinar su composición química, enfocando el estudio en partículas de carbono, nitratos, sulfatos y metales pesados. Para tal efecto se considerarán las variaciones estacionales.

Al menos cada dos años se realizará una evaluación de las redes de monitoreo.

CUADRO N° 13: ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

(Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico)

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS ^{1[1]}
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual ^{2[2]}			Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas ²			Fluorescencia UV (método automático)

FUENTE: legislación ambiental peruana – calidad ambiental

CUADRO N° 14: VALORES REFERENCIALES DE MP

CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA DEL ESTÁNDAR	METODO DE ANÁLISIS
		VALOR	
PM-2.5	Anual	15	Separación inercial/ filtración (gravimetría)
	24 horas	65	

FUENTE: legislación ambiental peruana – calidad ambiental

X. PLAN DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

La calidad del ambiente interior depende en gran parte del correcto diseño, higiene, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del edificio. Dichos sistemas tienden a cubrir las necesidades de calefacción, refrigeración y acondicionamiento del aire de un edificio, a menudo utilizando la misma instalación. Además estos sistemas deben crear condiciones térmicas aceptables (temperatura y humedad) procurando confort térmico para los ocupantes. Según la organización NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health), los sistemas de climatización son responsables del 50% de las quejas de calidad ambiental interior de edificios.

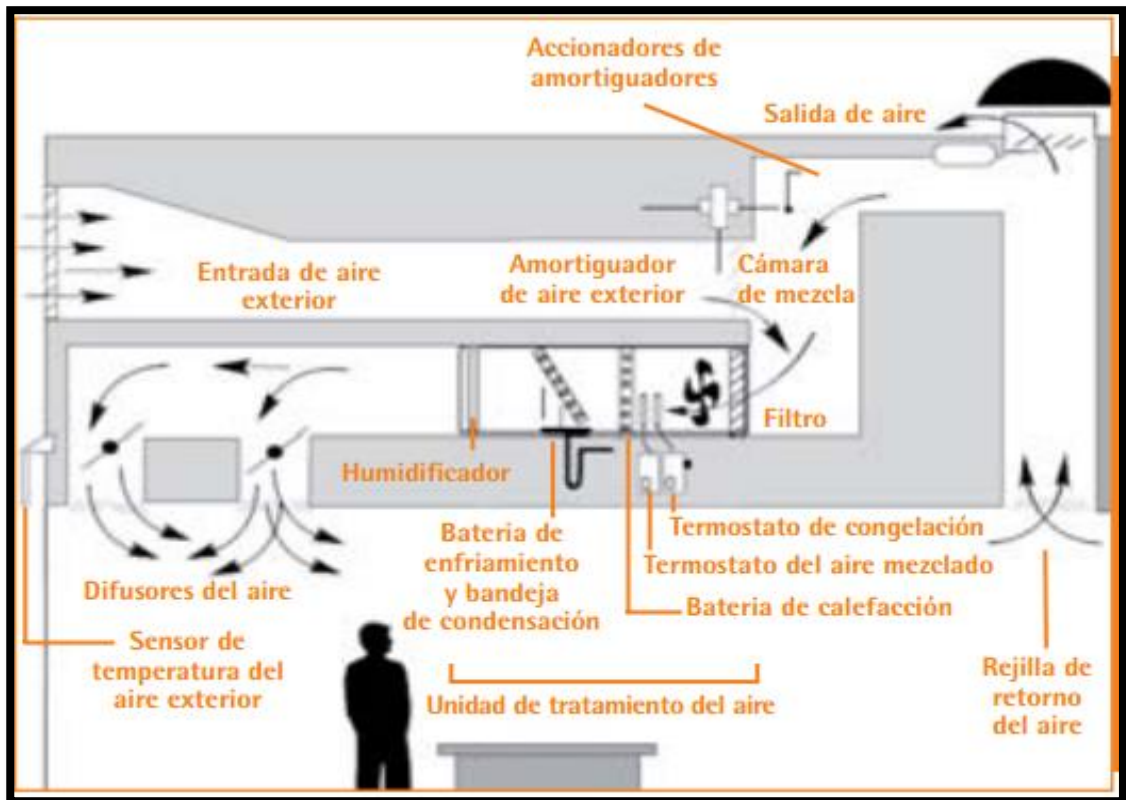
Estos sistemas se distribuyen por todo el edificio aportando aire acondicionado por los difusores y transportando los distintos contaminantes que encuentra en su recorrido hasta las rejillas de retorno, por lo que existe un riesgo de propagación de contaminantes en el aire, con la consiguiente aparición de patologías de diferente índole como por ejemplo enfermedades nosocomiales en hospitales. La ventilación en los edificios puede ser natural o mecánica. La ventilación natural se consigue a partir de las diferencias de presión que crea el viento en el edificio o que pueda resultar en un efecto acumulativo, debido a diferencias de

temperatura. El aire penetra a través de las aperturas situadas en la parte inferior de la fachada y sale otra vez al exterior a través de otras aperturas situadas en la parte superior de la misma.

La ventilación mecánica de caudal simple introduce el aire de forma natural por ejemplo en las oficinas, gracias a los pasos de aire ajustables que están situados en las paredes exteriores mientras que el aire viciado se extrae mecánicamente (ventiladores) en el pasillo. Con esta extracción, se produce una depresión en las oficinas, que favorece la infiltración de aire nuevo. En el caso de la ventilación mecánica de caudal doble hay dos conductos. El aire, filtrado y precalentado en invierno, entra en los recintos y salas del edificio a través de un conducto, generalmente situado en el falso techo. El flujo de aire que entra a través de los difusores mueve, retiene y transporta los distintos contaminantes que encuentra en su recorrido desde su origen hasta las rejillas de retorno del aire junto con los contaminantes que transporta y se extrae mecánicamente por otro conducto. Además se pueden controlar las características térmicas del aire acondicionándolo.

Básicamente el sistema de aire acondicionado se puede representar en la siguiente figura:

GRAFICO N° 07: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO



FUENTE: building air quality. epa and niosh. 1991

c. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

Para abordar la elaboración de un PCCAI, siguiendo el modelo genérico propuesto en el Sistema de Gestión se deberá llevar a cabo en las etapas siguientes:

- Diagnóstico de Situación de Calidad.
- Medidas de actuación: vigilancia y control.
- Evaluación.

A. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN DE CALIDAD

PRIMERA FASE: Recogida de Información

- Solicitud de información al responsable relacionada con los elementos e instalaciones implicadas en los SVAA (Sistema de ventilación y aire acondicionado): plano detallado del Sistema de ventilación y climatización, esquemas de instalaciones, memorias técnicas descriptivas, deficiencias, planes integrantes del SGCAI que afecten al SVAA (mantenimiento, legionelosis, limpieza y desinfección) gestión de residuos, entorno exterior, registro de quejas, incidencia.
- Inventario de factores ambientales: Listado de los aspectos, instalaciones o elementos del SVAA que interaccionan con la calidad ambiental.

1.- UBICACIÓN DEL EDIFICIO

Los aspectos que pueden condicionar la calidad ambiental en interiores son entre otros:

- **Calidad del aire exterior de la zona:** Dependiendo del tipo de calidad del aire exterior del edificio (ODA) y las exigencias de calidad de aire interior que debemos cumplir en función del tipo de edificio de que se trate (hospital, oficina, cines, garajes, etc.), se dispondrá de un equipamiento específico de purificación del aire, conforme al RITE.
- **Orientación y condiciones climatológicas:** Condicionará el confort térmico.

- **Usos del solar:** En el caso de zonas verdes, el suelo es fuente de hongos y ocasionalmente puede ser emisor de olores a compost, así como de productos químicos usados como plaguicidas.
- **Ubicación de tomas de aire:** Deben estar alejadas de focos de contaminación, así como de zonas ajardinadas y de torres de refrigeración cercanas. No deben estar próximas a cuartos de basuras o residuos y a almacenes de productos químicos.
- **Actividades desarrolladas en el área de influencia:** Existencia de posibles focos de contaminación por actividades industriales, vertederos, etc. (gases, sustancias químicas, olores).

2. USOS, ACTIVIDADES Y DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO

La modificación del proyecto original con compartimentación de espacios que fueron proyectados diáfanos suele constituir un problema habitual que afecta al confort térmico y a los SVAA.

3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Manipulación o instalación de materiales interiores no inertes en contacto con el aire que pueden aportar sustancias nocivas al aire, por ejemplo fibra de vidrio deteriorada que genere fibras en suspensión, compuestos orgánicos volátiles a partir de aislamientos, etc.

4. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL EDIFICIO

- **Instalaciones de acondicionamiento del aire:** Debe revisarse aspectos como aportes, renovación, recirculación, humidificación, filtros, limpieza.

- **Sistema de ventilación.** Repercute notablemente en la calidad del aire interior, participando en la renovación del mismo. Los sistemas de ventilación con extracción localizada funcionan capturando el contaminante en la propia fuente o lo más cerca posible.

- **Humidificación:** Pueden suponer un importante problema higiénico si no se realiza un mantenimiento exhaustivo, ya que la humedad es un factor potenciador de contaminación microbiana, fúngica y de ácaros. Debe estudiarse la idoneidad y necesidad de instalar humidificación en los sistemas de climatización.

- **Plenums:** El uso de plenums dificulta los tratamientos de higienización. Los falsos techos usados como plenum de conducción de aire son difíciles de higienizar ya que existen multitud de elementos eléctricos, bandejas de cableados, luminarias, etc., y los materiales constitutivos del propio falso techo o el material aislante, suelen ser fuente de fibras de vidrio o celulosa, que pueden afectar negativamente a la calidad del aire del edificio.

- **Instalaciones de agua:** Debe tenerse en cuenta si existe presencia de instalaciones que transfieren agua al aire y que estén considerados dispositivos de riesgo por legionelosis como torres de refrigeración, condensadores evaporativos, humectadores y equipos de enfriamiento evaporativo.

Otras instalaciones como: cuarto de basuras o conductos de recogida de residuos urbanos, depósitos de combustibles, instalaciones de transporte vertical y comunicación entre plantas, zonas de aparcamiento y almacenes o salas de usos especiales. Pueden emitir contaminantes (gases, humos, olores, artrópodos) que afecten a puntos de captación de aire al interior o directamente difundirse a las diferentes estancias y recintos del edificio, pudiendo afectar a los SVAA.

Determinadas salas, como zonas de reprografía, cocinas, almacén de productos químicos, deben mantenerse en depresión respecto al resto del edificio y, si es preciso, con sistemas de tratamiento de aire específicos.

5. PLANES TRANSVERSALES

Otros planes con especial incidencia en la calidad del aire son los de carácter transversal contemplados en este capítulo.

SEGUNDA FASE: Análisis de Peligros

A partir de la información recopilada se identificarán los posibles peligros seleccionando los que realmente se consideren significativos y se establecerán como Punto de Control Crítico para su posterior valoración mediante la inspección y toma de muestras.

TERCERA FASE: Inspección y toma de muestras

El RITE establece valores que deben cumplir los parámetros que conforman el bienestar térmico como son:

- Temperatura seca del aire y operativa.
- Humedad relativa.
- Temperatura radiante media del recinto.
- Velocidad media del aire en la zona ocupada.
- Intensidad de la turbulencia.

La mayoría de Organismos reconocidos en la materia establecen una serie de parámetros mínimos a tener en cuenta en la calidad del aire interior:

- Temperatura y humedad relativa.
- Dióxido de carbono.
- Monóxido de carbono.
- Partículas en suspensión (PM10).
- Bacterias en suspensión.

- Hongos en suspensión.

Otros parámetros adicionales que pueden muestrearse según los resultados obtenidos en el análisis de peligros son:

- Fibras en suspensión (amianto, fibra de vidrio, etc.) si se observa presencia de materiales de construcción o aislantes a base de fibras minerales.
- Radón, si es propio del terreno o materiales empleados (graníticos).
- Compuestos orgánicos volátiles, si existe una presencia significativa de olores, sobre todo en edificios recién construidos o reformados con mobiliario nuevo se medirá formaldehído. Ozono en fotocopiadoras, impresoras, ozonizadores.
- Ácaros del polvo en zonas de almacenamiento, sobre todo de papel o con escasa limpieza, con presencia de moquetas, mascotas.
- Benceno, nicotina y aldehídos si existe presencia de fumadores.
- Iluminación y ruido ambiental.

Para valorar los biocontaminantes presentes se determinan bacterias y hongos en suspensión, sin embargo estos métodos microbiológicos “convencionales” empleados en la evaluación de interiores y basados en recuento de colonias, presentan grandes limitaciones que hacen que su utilidad sea cuestionable (patógenos que inhiben el crecimiento de otros, crecimientos selectivos según medio, etc.). Actualmente, se tiende a la determinación de marcadores de crecimiento para detectar microorganismos patógenos o toxinas microbianas.

CUARTA FASE: Valoración de resultados e informe final

Los resultados obtenidos deben compararse con un valor de referencia que nos indique si la calidad del aire interior es conforme o no. Los valores de referencia son los establecidos en las normativas vigentes y por lo tanto de obligado cumplimiento. En caso, de carecer de regulación, se aplicarán de forma prioritaria los valores recomendados por

Organismos Sanitarios (OMS, CDC, etc.). Así mismo, y en el caso de que no se dieran los supuestos anteriores, se seguirán los valores prescritos por otros Organismos reconocidos en la materia. (Normas UNE/EN/ISO, EPA, ACGH, etc.).

El Diagnóstico de Situación de la Calidad del Aire Interior quedará plasmado en un documento que como mínimo incluirá información referente a:

B. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS INSTALACIONES DEL AIRE

- Tipo de ventilación (natural, mecánica, mixta) y sistema de extracción y purificación del aire (filtros). Localización de la toma de aire, recirculación, sistemas de enfriamiento y/o humidificación. Renovaciones: aporte de aire exterior y aportes promedio y mínimo por persona (litros/segundo persona) y su cálculo (estimado, medido).
- En el caso de oficinas, superficie por persona y volumen de aire por persona (promedio y mínimo).
- Dispositivos de riesgo por legionelosis. Existencia de dispositivos, cumplimiento del Plan de Autocontrol de Legionelosis.
- Condiciones higiénico-sanitarias de las instalaciones de aire. Procedimientos de higienización (método, frecuencia, productos empleados).
- Materiales y recubrimientos en suelos, paredes y techos cuando tengan repercusión en la calidad del aire interior.
- Reformas o remodelaciones realizadas durante los últimos años. Materiales y productos utilizados.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PELIGROS

- Parámetros analizados y justificación.
- Resultados analíticos obtenidos y criterios de calidad considerados.
- Medidas preventivas y de control y Acciones correctoras propuestas.

MEDIDAS DE ACTUACIÓN: VIGILANCIA Y CONTROL

A partir del Diagnóstico se elabora el Cuadro de Gestión que recogerá de forma planificada las medidas de control y vigilancia del PCCAI.

d. MEDIDAS DE CONTROL DE FOCOS CONTAMINANTES

La fuente de contaminación puede controlarse por varios medios, entre los que destacan:

- **Higiene:**

La higienización en los SVAA tiene como objetivo eliminar la suciedad y los contaminantes presentes mediante la limpieza de los mismos, pudiendo completarse con un tratamiento de desinfección, si se precisase.

El Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, RITE, (R.D 1027/2007) establece en su instrucción técnica relativa a las ***pruebas de recepción de redes de conductos de aire***, la preparación y limpieza de éstas antes de la conexión de las unidades terminales: *“la limpieza interior de las redes de conductos de aire se efectuará una vez se haya contemplado el montaje de la red y de la unidad de tratamiento del aire, pero antes de conectar las unidades terminales y de montar los elementos de acabado y los muebles”*, cumpliendo las condiciones prescritas en la norma UNE 100.012, Higienización de sistemas de climatización.

La norma UNE 100012 desarrolla criterios de valoración, de descontaminación (higienización) y de validación (eficacia) de la calidad higiénica del SVAA, aplicable a todos los elementos del sistema desde la entrada hasta la salida del aire, así como a todas las superficies del SVAA en contacto con el aire circulante.

El proceso de limpieza puede ir acompañado, sólo en los casos en que se considere necesario, de un proceso de desinfección.

- **Eliminación:**

Es el método ideal para controlar la calidad del aire en interiores. Eliminar la fuente de contaminación es una medida permanente que no requiere de operaciones de mantenimiento posteriores. Se aplica cuando se conoce la fuente de la contaminación, como en el caso del humo del tabaco.

- **Sustitución:**

En algunos casos hay que sustituir el producto que origina la contaminación. A veces es posible cambiar los productos utilizados (limpieza, decoración, etc.) por otros que presten el mismo servicio pero que sean menos tóxicos o presenten un riesgo menor para las personas que los utilizan.

- **Aislamiento o confinamiento espacial:**

El objeto de estas medidas es reducir la exposición limitando el acceso a la fuente. Es un método por el que se interponen barreras (parciales o totales) o medidas de contención alrededor de la fuente de contaminación para minimizar las emisiones al aire circundante y limitar el acceso de personas a la zona próxima a la fuente de contaminación. Los recintos deben estar equipados con sistemas de ventilación suplementarios que puedan extraer aire y suministrar un flujo de aire dirigido donde sea necesario. Por ejemplo salas de calderas, salas de fotocopiadoras.

- **Sellado de la fuente:**

En este método se utilizan materiales y/o productos que eviten o minimicen la emisión de contaminación. Se ha propuesto como medio para evitar la dispersión de fibras de amianto sueltas de antiguos aislantes, así como para reducir la emisión de formaldehído de las paredes tratadas con resinas. En edificios contaminados por gas radón, esta técnica se utiliza para sellar bloques de hormigón y fisuras en paredes de sótanos, utilizándose polímeros para evitar la inmisión de radón del suelo. Las paredes de sótanos también pueden tratarse con pintura epoxídica y un sellador polimérico de polietileno o poliamida para evitar contaminación que pueda filtrarse a través de las paredes o por el suelo.

- **Extracción localizada:**

Los sistemas de extracción localizados funcionan capturando el contaminante en la propia fuente o lo más cerca posible de ella. La captura se realiza con una campana concebida para atrapar el contaminante en una corriente de aire que fluye a través de conductos hacia el sistema de depuración con ayuda de un ventilador. Si no es posible depurar o filtrar el aire extraído, deberá evacuarse al exterior y no volverá a utilizarse en el edificio.

- **Ventilación:**

El sistema más empleado para corregir o prevenir los problemas de contaminación del aire en interiores es la ventilación, ya que la renovación del aire interior con aire nuevo de mejor calidad diluye los contaminantes que se encuentran dispersos por todo el edificio debido a las diferentes fuentes de contaminación presentes en ellos. Las medidas de prevención y control básicas a aplicar en los sistemas de ventilación están relacionadas con la calidad y cantidad del aire aportado:

- sistema de purificación o filtración
- aporte de aire o renovación

a.- Sistema de purificación o filtración

Respecto a la calidad del aire interior, el RITE establece que los sistemas de ventilación y climatización, centralizados o individuales, se diseñarán para controlar el ambiente interior desde el punto de vista de la calidad con los métodos que en él se establecen.

La calidad del aire interior (IDA) que debe alcanzarse en función del uso del edificio se categoriza como:

CUADRO N° 15: CATEGORÍAS DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN FUNCIÓN DEL USO DE LOS EDIFICIOS (IDA).

Categoría	Calidad	Edificio
IDA 1	<i>Aire de óptima calidad</i>	Hospitales, clínicas Laboratorios Guarderías
IDA 2	<i>Aire de buena calidad</i>	Oficinas Residencias (locales comunes de hoteles y similares) Residencias de ancianos y estudiantes Salas de lecturas, aulas de enseñanza y asimilables Museos Salas de tribunales Piscinas
IDA 3	<i>Aire de calidad media</i>	Edificios comerciales Cines, teatros Salones de actos Habitaciones de hoteles y similares Restaurantes, cafeterías, bares Salas de fiestas Gimnasios, locales de deporte excepto piscinas Salas de ordenadores
IDA 4	<i>Aire de calidad baja</i>	

Fuente: Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el RITE

**CUADRO N° 16: CATEGORÍAS DE CALIDAD DEL AIRE EXTERIOR
DISPONIBLE (ODA)**

Categoría	Calidad
ODA 1	Aire puro que contiene temporalmente partículas sólidas
ODA 2	Aire con alta concentración de partículas
ODA 3	Aire con alta concentración de contaminantes gaseosos
ODA 4	Aire con alta concentración de contaminantes gaseosos y partículas
ODA 5	Aire con muy alta concentración de contaminantes gaseosos y partículas

Fuente: Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el RITE

El RITE establece unas exigencias respecto al tipo de filtración a aplicar en ese edificio en función de la calidad de aire interior o IDA requerida y la calidad exterior (ODA). Por ejemplo, para un hospital o un laboratorio que está catalogado como calidad de aire IDA 1 (aire de óptima calidad) ubicado en una zona clasificada como ODA 3 (aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos) se requiere una filtración de tipo F7/F9.

También se clasifica el aire de extracción en función del edificio o local en las siguientes categorías:

CUADRO N° 17: CLASIFICACIÓN DEL AIRE EN FUNCIÓN DEL EDIFICIO O LOCAL

Categoría	Calidad	Origen contaminantes	Edificio
AE 1	Bajo nivel de contaminación	Materiales de construcción y decoración Personas	Oficinas, salas reuniones, aulas Pasillos, escaleras Espacios de uso público
AE 2	Moderado nivel de contaminación	Mas contaminantes que anterior Humo de tabaco	Restaurantes, bares Habitación hoteles Vestuarios Almacenes
AE 3	Alto nivel de contaminación	Producción de productos químicos Humedad	Aseos, saunas Cocinas Laboratorios químicos Imprentas Salas, habitaciones de fumadores
AE 4	Muy alto nivel de contaminación	Sustancias olorosas Contaminantes perjudiciales para la salud superando la concentración limite permitida	Aparcamientos Extracción de campanas de humo Locales manejo de pinturas Almacén de basuras Salas de fumadores uso permanente Laboratorios químicos

Fuente: Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el RITE

Únicamente el aire de categoría AE 1, exento de humo de tabaco puede ser retornado a los locales mientras que el de categoría AE 2 puede recircularse hacia locales de servicio, aseos y garajes.

El aire de categoría AE 3 y AE 4 no puede recircularse y su expulsión al exterior debe ser por lugar distinto que el aire de categorías AE 1 y AE 2, para evitar contaminación cruzada.

b.- Aporte de aire o renovación

Respecto a la cantidad de aporte de aire exterior o renovaciones de un edificio o local, debe aportarse un determinado flujo de aire exterior por horas y por ocupante, estableciendo unos valores mínimos recomendables.

El RITE establece diferentes exigencias (caudal mínimo) de aire exterior de ventilación según la categoría de aire interior, proporcionando diferentes métodos para su cálculo. Para el caso de hospitales y clínicas son válidos los valores de la norma UNE 100713.

La norma UNE 100713:2005. Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales clasifica en dos grupos los locales del hospital según las exigencias higiénicas, incluyendo a todos los locales del bloque quirúrgico dentro de la clase I, con mayores exigencias. El caudal mínimo de aire exterior en quirófanos es de 1200 m³ /h y un mínimo de 20 recirculaciones/hora.

En el resto de edificios para calcular el caudal mínimo de aire exterior de ventilación el RITE establece diferentes métodos que se recogen de forma resumida en la siguiente tabla:

El RITE asigna los valores IDA anteriores a los diferentes locales en virtud de una serie de consideraciones:

CUADRO N° 18: CONSIDERACIONES PARA VALORES IDA EN LOCALES

	M. caudal aire exterior/persona	M. calidad aire percibido	M. concentración CO ₂	M. caudal aire/superficie	M. de dilución
Reducida actividad física, con baja producción de contaminantes y con prohibición de fumar	9				
Reducida actividad física, con baja producción de contaminantes y con prohibición de fumar Permitido fumar	2 x caudal exterior				
Valoración de CAI por método olfativo		9			
Elevada actividad física, y presencia de personas con prohibición de fumar (discotecas, gimnasios...)			9		
Elevada producción de contaminantes sin conocer composición y caudal (bares, cafeterías, restaurantes...)			9		
Elevada producción de contaminantes conociendo composición y caudal (bares, cafeterías, restaurantes...)					9
Espacios no dedicados a ocupación humana permanente				9	
Piscinas climatizadas	2,5 dm ³ /s/m ² de lámina de agua y de playa				

Fuente: Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el RITE

A continuación, a modo de ejemplo, se detallan algunas de las actuaciones que dependiendo de las características y estructura del edificio se deberían aplicar. En el caso de edificios de nueva construcción que aún se encuentren en fase de proyecto o diseño, se considerarían como medidas preventivas:

- Ubicar las tomas de aire exterior alejadas de focos de contaminación y de torres de refrigeración, localizadas en fachada del edificio y lo más alto posible.
- Proteger las unidades de tratamiento de aire ubicadas a la intemperie frente a la lluvia y la radiación solar, ya que las uniones entre chapas no siempre son estancas y es posible la infiltración de agua al interior.
- Preservar también las tomas de aire exterior de la acción de la lluvia y de la radiación solar que deteriora los materiales de éstas.
- Evitar en lo posible disponer superficies horizontales junto a las tomas de aire exterior, ya que pueden ser superficies de acumulación de agua de lluvia favorecedora del crecimiento microbiano, o acumularse excretas y plumas debido a pájaros que se posen sobre ellas, con riesgo de presencia de ácaros y otros contaminantes.
- Instalar extractores localizados en las fuentes de contaminación. En los recintos con fuentes de contaminación localizadas deberían mantenerse a presión negativa en relación con la presión atmosférica exterior.
- Situar a los ocupantes junto a los difusores de aire, expulsando el aire mezclado con contaminantes por la vía más corta posible.

- Emplear materiales interiores en contacto con el aire totalmente inertes, utilizando material no poroso para evitar la acumulación de bacterias, hongos o huevos de insectos y resistentes a las futuras operaciones de limpieza y desinfección, que habrán de llevarse a cabo periódicamente. Al no utilizar material poroso se evita la contaminación fúngica del falso techo en caso de que se produzcan derrames de las conducciones de agua o infiltraciones del exterior.

- El revestimiento interior de conductos deberá ser resistente a la acción agresiva de los productos de desinfección y la acción mecánica de las operaciones de limpieza a las que se le sometan.

- Evitar el uso de plenum (espacio situado entre un forjado y un techo suspendido o un suelo elevado) para distribución de aire. Cuando se utilicen deben estar delimitados por materiales que cumplan las condiciones requeridas a los conductos y con accesibilidad para su limpieza y desinfección. Si se usan salas de máquinas como plenum de mezcla de aire, las uniones entre pared y suelo serán redondeadas para facilitar su limpieza evitando la acumulación de microorganismos e insectos. Las paredes de tales salas serán preferiblemente impermeables y no porosas y los puntos de desagüe, si existen, deben estar cerrados herméticamente y abrirse únicamente cuando sea necesario evacuar agua.

- El agua que se emplee para la humectación deberá tener calidad sanitaria. No está permitida la humectación del aire mediante inyección directa del vapor procedente de calderas, salvo que el vapor tenga calidad sanitaria.

- La humidificación por pulverización, está totalmente desaconsejada, ya que se ha probado su relación con diversos episodios de la denominada fiebre del humidificador o de Pontiac, por riesgos elevados si

el agua de aporte se encontrase contaminada con bacterias de la especie Legionella.

- Disponer de espacio suficiente en todos los elementos del sistema de tratamiento de aire (unidades de tratamiento de aire, plenum, sistemas de conductos) para permitir un mantenimiento higiénico adecuado. El acceso a los diferentes elementos facilita las labores de inspección y mantenimiento, ya que durante la vida útil de la instalación se ensucia y requiere de una limpieza física para retirar los depósitos acumulados.

CUADRO N° 19: MODELO DE CUADRO DE GESTIÓN DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR I

Aspecto de influencia en la calidad del aire	Elementos/ instalaciones implicadas	Acciones preventivas/ criterios de diseño
HIGIENE	*Instalaciones de acondicionamiento de aire.	- Accesibilidad - Materiales resistentes a los procesos de limpieza y desinfección
CONTROL DE FUENTES	*Ubicación del edificio	- Considerar calidad del aire exterior en el diseño de sistemas de purificación según RITE.
	*Usos, actividades y distribución del edificio: Zonas de reprografía Restaurantes y cocinas	- Ubicación en salas especiales de uso exclusivo con filtración especial y en depresión y extracciones localizadas. - Zona de extracción localizada.
	*Materiales de decoración y construcción	- Usar materiales de baja emisión de sustancias químicas.
	*Instalaciones de acondicionamiento de aire.	- Correcta ubicación de tomas de aire exterior, extracciones, etc. - Selección de equipos de baja emisión de calor y ruido.
	*Instalaciones de riesgo por legionelosis	- Correcta ubicación de tomas de aire y extracciones y emisiones de contaminantes.
	*Instalaciones de agua	- Control de fugas y derrames.
	*Gestión de residuos y desagües	- Control de fugas y derrames de sustancias contaminantes.
	*Depósitos de combustibles	- Control de fugas y derrames de sustancias contaminantes.
	*Zonas de aparcamiento	- Ventilación de plantas bajo rasante y correcta ubicación de extracciones.
	*Almacenes y salas de usos especiales.	- Máximo aislamiento e impermeabilización en zona de contacto del suelo con los locales.
	*Plantas ornamentales	- Plan de prevención y control de plagas.
	*Mantenimiento del edificio	- Cumplir plan de mantenimiento.
	*Control de plagas	- Plan de prevención y control de plagas.
*Remodelación del edificio	- Plan de prevención de CAI en remodelaciones	
VENTILACION	*Instalaciones de acondicionamiento de aire	- Correcta ubicación de tomas de aire exterior. - Determinación de caudales de ventilación adecuados - Sistemas de control del sistema de climatización y ventilación - Selección de sistemas de purificación acorde a los niveles de contaminación exterior.

Fuente: Sección de Evaluación de Impacto Ambiental en Salud (EIAS)

CUADRO N° 20: MODELO DE CUADRO DE GESTIÓN DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR II

	Medidas de control	Medidas de vigilancia
	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza de Unidades de Tratamiento - Limpieza de sistemas de conductos - Cumplimiento RITE. Cumplimiento UNE 100012 - Cumplimiento RD 865/2003 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspecciones visuales - Control de microorganismos - Control de polvo depositado en superficies - Control de alérgenos
	<ul style="list-style-type: none"> - Si se ha detectado en el análisis presencia de radón, aplicación de medidas oportunas de control: sellado de grietas en suelos... 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspecciones visuales - Vigilancia (muestreo o monitoreo) de:
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de sistemas de extracción. 	<ul style="list-style-type: none"> Partículas Ozono VOC's Monóxido de carbono Formaldehído Amianto (si existe) Humo de tabaco (si existe) Microorganismos Olores Temperatura y humedad relativa Gas radón
	<ul style="list-style-type: none"> - En función de riesgo detectado en el análisis de peligros respecto al amianto: señalización; protección de superficies o estabilización con productos sellantes; encapsulado del material con barrera física o retirada del material. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión y sustitución de sistemas de purificación. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión periódica cumplimiento del Plan de autocontrol de Legionelosis. - Revisión circuitos del sistema. - Revisión parámetros del RD 140/2003 	<ul style="list-style-type: none"> Otros parámetros en función de los productos empleados en mantenimiento (plaguicidas, ambientadores...)
	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobación y revisión parámetros del RD 140/2003. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión estado mantenimiento de depósitos, fugas, circuitos, etc. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Si se ha detectado en el análisis presencia de radón, aplicación de medidas oportunas de control: sellado de grietas en suelos... 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar y comprobar planes de control de plagas. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - En función de riesgo detectado en el análisis de peligros aplicar medidas correctoras. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión periódica cumplimiento del Plan de control integrado de plagas. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de sistemas de ventilación - Revisión y sustitución de sistemas de purificación - Cumplimiento RITE 	<ul style="list-style-type: none"> - Dióxido de carbono - Partículas - Temperatura - Humedad relativa - Tasa renovación aire

Fuente: Sección de Evaluación de Impacto Ambiental en Salud (EIAS)

- **Evaluación:**

La evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores y su gestión requiere de la aplicación de valores de referencia o estándares, al igual que ocurre con la calidad del aire exterior o aire ambiente y con los ambientes laborales. Un valor de referencia debería representar un nivel de concentración que para la mayoría de individuos suponga la ausencia de efectos perjudiciales sobre la salud, y cuando se exceda, requiera emprender acciones para asegurar su reducción en el edificio afectado.

Los valores recomendados para contaminantes en aire establecen un nivel o concentración referido a un tiempo promedio de exposición y también suelen establecer un método de medición. El establecimiento de valores límites de referencia para aire interior presenta ciertas dificultades que deben abordarse siempre bajo la perspectiva de la salud y el confort de los usuarios, priorizando el control y seguimiento de los contaminantes según tipo de efectos negativos en salud y/o frecuencia.

En la actualidad, para la mayoría de los contaminantes no existe un único valor límite recomendado de aceptación general. En la práctica se toman a menudo como referencia los valores documentados para ambientes laborales, para aire exterior o posiblemente, los más adecuados para calidad de aire en general, ya que los efectos en salud de un contaminante no varían dependiendo del medio en que se encuentre.

e. VALORES DE REFERENCIA EN EL AIRE AMBIENTE Y EN EL ÁMBITO LABORAL

Los estándares que se refieren a la calidad del aire exterior tienen como finalidad la protección de la población en general frente a los efectos adversos sobre la salud y sólo consideran aquellos compuestos que pueden estar presentes, de forma habitual, en el aire exterior. En algunas

ocasiones, la concentración de éstos es notablemente mayor en el ambiente interior e incluso pueden llegar a combinarse entre ellos, por ejemplo d-limoneno y ozono. Estos criterios de calidad deberán tenerse en consideración en los procedimientos de toma de muestras, ya sea para llevar a cabo el diagnóstico de calidad o como medida de actuación para el control, vigilancia o evaluación del Plan.

- **Valores de referencia ambientales:**

Los valores de referencia que se indican a continuación son los establecidos en las normativas vigentes y por lo tanto de obligado cumplimiento. En caso, de carecer de regulación, se aplicarán de forma prioritaria los valores recomendados por Organismos Sanitarios (OMS, CDC, etc.). Así mismo, y en el caso de que no se dieran los supuestos anteriores, también se indican los valores prescritos por otros Organismos reconocidos en la materia. (Normas UNE/EN/ISO, EPA, ACGIH, etc.).

- **Ministerio de la Presidencia:**

En nuestro país, el Ministerio de la Presidencia ha promulgado el R.D 1796/2003 relativo al ozono en el aire ambiente y el R.D 1073/2002 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono que definen y establecen valores límite para la protección de la salud para una serie de compuestos presentes en el aire ambiente, así como unos márgenes de tolerancia aplicables hasta la entrada en vigor de estos valores, que en algunos contaminantes como SO₂ , CO o partículas PM₁₀ (fase 1), ya se ha cumplido ese plazo.

- **EPA (Environmental Protection Agency):**

En EE.UU, la Agencia de Protección Medioambiental también establece estándares de calidad del aire exterior que son de dos tipos:

- **Los estándares primarios**, que fijan límites destinados a proteger la salud pública, incluyendo a la población más sensible tales como, asmáticos, niños y ancianos.
- **los estándares secundarios** que fijan límites para proteger el bienestar de la población y otros daños como a la vegetación, animales, edificios.

- **OMS:**

Este organismo actualiza periódicamente unas *Directrices sobre Calidad del Aire* con valores guía que son niveles de contaminación del aire por debajo de los cuales la exposición crónica o la exposición durante un tiempo dado no constituye un riesgo significativo para la salud, pero si se superan esos niveles se incrementa el riesgo de estos efectos adversos, aunque no significa que se produzcan automáticamente.

Estos valores están basados en datos epidemiológicos y toxicológicos de un contaminante inhalado, independientemente que se encuentre en aire interior o exterior obtenidos de la relación exposición-respuesta característica de cada contaminante, utilizando los conceptos de "Nivel sin efecto adverso observado" - "Nivel sin efecto observado" (NOAEL - NOEL) y de "Nivel con efecto adverso observado más bajo" - "Nivel con efecto observado más bajo" (LOAEL - LOEL) a los que se aplican factores de seguridad en función de la incertidumbre de los datos.

Puesto que la contaminación, tanto en espacios interiores como al aire libre, constituye un grave problema de salud que afecta a los países desarrollados y en desarrollo por igual, estas Directrices están concebidas para ofrecer una orientación mundial a la hora de reducir las repercusiones sanitarias de la contaminación del aire. Las primeras directrices, publicadas en 1987 y actualizadas en 1997, se circunscribían al ámbito europeo.

Las nuevas Directrices sobre Calidad del Aire, elaboradas en 2005, son aplicables a todo el mundo y se basan en una evaluación de pruebas científicas actuales llevada a cabo por expertos. En ellas se recomiendan nuevos límites de concentración de algunos contaminantes en el aire: partículas en suspensión (PM), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Además de los valores recomendados, las directrices proponen, en cuanto a la contaminación ambiental, unas metas provisionales para cada contaminante con el fin de fomentar la reducción gradual de las concentraciones, ya que de alcanzarse estas metas, cabría esperar una considerable reducción del riesgo de efectos agudos y crónicos sobre la salud.

Los nuevos límites establecidos están fundamentados en:

- Existen graves riesgos para la salud derivados de la exposición a las PM y al O₃ en numerosas ciudades de los países desarrollados y en desarrollo. Es posible establecer una relación cuantitativa entre los niveles de contaminación y resultados concretos relativos a la salud, como el aumento de la mortalidad o la morbilidad. Este dato resulta útil para comprender las mejoras que cabría esperar en materia de salud si se reduce la contaminación del aire.

- Los contaminantes atmosféricos, incluso en concentraciones relativamente bajas, se han relacionado con una serie de efectos adversos para la salud.

La mala calidad del aire en espacios interiores puede suponer un riesgo para la salud de más de la mitad de la población mundial.

CUADRO N° 21: VALORES GUÍA OMS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES, BASADO EN EFECTOS CONOCIDOS PARA LA SALUD.

Compuesto	Efectos en salud	Valor guía	Tiempo de exposición
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos. Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	500 µg/m ³	10 minutos
		125 µg/m ³	24 horas
		50 µg/m ³	1 año
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 µg/m ³ (0,1 ppm)	1 hora
		40 µg/m ³ (0,02 ppm)	1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de CO(Hb) <2,5%	100 mg/m ³ (90 ppm)	15 minutos
		60 mg/m ³ (50 ppm)	30 minutos
		30 mg/m ³ (25 ppm)	1 hora
		10 mg/m ³ (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120 µg/m ³	8 horas
Formaldehído	Iritación en humanos de nariz y garganta	100 µg/m ³	30 minutos
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 µg (Pb)/l	0,5 µg/m ³	1 año
Acroleína	Iritación ocular en humanos	50 µg/m ³	30 minutos
Diclorometano	Formación de COHb en sujetos normales	3 mg/m ³	24 horas
Estireno	Efectos neurológicos en trabajadores	260 µg/m ³	1 semana
Tolueno	Efectos sobre el sistema nervioso central en trabajadores	260 µg/m ³	1 semana
Xileno	Efectos sobre el sistema nervioso central en voluntarios humanos	4.800 µg/m ³	24 horas
	Neurotoxicidad en ratas	870 µg/m ³	1 año

Fuente: OMS. 2005.

- **Valores límites de exposición laboral:**

En los ambientes laborales u ocupacionales, se aplican valores límites de exposición laboral, referidos a población en edad de trabajar y expuestos durante un periodo de tiempo concreto, por lo que no pueden ser aplicados directamente a la población general en ambientes interiores sin efectuar una adaptación a las distintas condiciones de exposición.

Para conseguirlo deben aplicarse factores de corrección para compensar los distintos tiempos de exposición en ambientes laborales, (estimado en 40 horas/semana, mediante exposición de 8 horas diarias repetidas durante 5 días consecutivos cada semana) y en ambientes interiores y las diferencias en la población expuesta en dichos ambientes en cuanto a edad y estado de salud. Por esta razón, en algunos casos, se ha propuesto aplicar a estos valores factores de corrección de 1/10 e incluso más limitativos.

- **INSHT:**

En España son de aplicación los valores límites ambientales (VLA) que son “los valores de referencia para concentraciones de los agentes químicos en el aire, para los que se cree, en base a conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos”. Los VLA están elaborados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) como límites de exposición profesional. Existen dos tipos de valores:

- VLA-ED (Exposición Diaria). Es la concentración media ponderada en el tiempo, de un agente químico en el aire, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, a la que se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

- VLA-EC (Exposición de corta duración). Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un período de referencia inferior, en la lista de Valores Límite.

También está definido el Indicador Biológico (IB), que sería un parámetro apropiado en un medio biológico del trabajador, que se mide en un momento determinado, y está asociado, directa o indirectamente, con la exposición global, es decir, por todas las vías de entrada, a un agente químico. Como medios biológicos se utilizan el aire exhalado, la orina, la sangre y otros. Según cuál sea el parámetro, el medio en que se mida y el momento de la toma de muestra, la medida puede indicar la intensidad de una exposición reciente, la exposición promedio diaria o la cantidad total del agente acumulada en el organismo, es decir, la carga corporal total.

Se consideran dos tipos de indicadores biológicos:

- **IB de dosis:** Es un parámetro que mide la concentración del agente químico o de alguno de sus metabolitos en un medio biológico del trabajador expuesto.
- **IB de efecto:** Es un parámetro que puede identificar alteraciones bioquímicas reversibles, inducidas de modo característico por el agente químico al que está expuesto el trabajador.

Por otra parte, en EE.UU existen tres instituciones que tienen establecidos valores límites para contaminantes químicos en el ambiente de trabajo:

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

- **OSHA:**

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional Americana es el órgano de la Administración federal con competencia en el establecimiento de normas legales relativas a la prevención de riesgos y promoción de la salud en el ámbito laboral. Los valores que propone la OSHA se denominan "Permissible Exposure Limits" (PEL) y son los únicos que tienen validez desde el punto de vista legal.

- **Límite de exposición permisible (PEL):**

Es la cantidad máxima o concentración de un producto químico a la que un trabajador puede estar expuesto y que puede definirse de dos formas diferentes:

- **Valores techo:**

Este límite de exposición no debe ser excedido en ningún momento. A veces se denota con la letra C (del inglés "ceiling", que significa "techo").

- **Medias ponderadas de 8 horas (TWA):**

Valor medio de exposición durante un turno de 8 horas. Los niveles TWA son normalmente más bajos que los valores techo. De esta forma, un trabajador puede estar expuesto a un nivel más alto que el TWA durante parte del día (pero más bajo que el valor techo) siempre y cuando la exposición sea a valores por debajo del TWA durante el resto del día.

- **NIOSH:**

Es una institución dependiente de la Administración Federal de EEUU que, entre otras actividades, desarrolla y revisa periódicamente recomendaciones para límites de exposición a sustancias potencialmente peligrosas en el ámbito de trabajo.

Estas recomendaciones son publicadas y tenidas en cuenta por los organismos competentes de la Administración para su empleo en la promulgación de normas legales. Los valores que establece el NIOSH se denominan "Recommended Exposure Limits" (REL) y no tienen valor legal.

- **ACGIH:**

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno de Estados Unidos es una asociación que agrupa a profesionales de la higiene del trabajo que desarrollan su labor en instituciones públicas y universidades de todo el mundo. Estos valores TLV son sólo unos límites recomendados. Normalmente, cuando se citan los valores TLV de USA sin más especificación se está haciendo referencia a los valores propuestos por la ACGIH. También ha establecido unos valores límites recomendados con criterios técnicos de exposición semejantes a los VLA, Threshold Limit Values o valores límite umbral (TLV) que se basan en criterios científicos de protección de la salud, estableciendo un valor de referencia para una exposición segura de los trabajadores ante un agente químico o físico:

- **TLV-TWA: Límite de Exposición Permisible-Media de Tiempo Ponderado** (time weighted average):

Se define como la concentración media de contaminante para una jornada de 8 horas diarias o 40 semanales, a la que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos. Se calcula la media de las exposiciones producidas en el tiempo.

- **TLV-STEL: valor límite umbral de exposición de corta duración.** (short term exposure level).

Es el nivel de exposición a corto plazo que se define como “límites de exposición que no deben durar más de 15 minutos, que no deben repetirse más de cuatro veces por día y que deben estar espaciados en el tiempo al menos 1 hora”.

- **TLV-C (ceiling): valor límite umbral techo:**

Es la concentración del contaminante que no debe superarse en ningún momento de la jornada laboral.

Tanto los TLVs como los VLAs se refieren a niveles de contaminante en el ambiente, pero también existen criterios biológicos de valoración, que se refieren a valores límite del contaminante, sus metabolitos o bien otros parámetros como enzimas, medidos en el propio trabajador.

Los valores límites biológicos que propone la ACGIH son los BEIs (Biological Exposure Index) o Indicadores Biológicos de Exposición, que permiten comparar el nivel máximo recomendable con el nivel de contaminante que encontramos en el trabajador.

Todos estos índices (TLV y BEIs) no mantienen un valor fijo en el tiempo y evolucionan debido a los avances científicos, adopción de criterios de salud más estrictos, por lo que se recomienda consultar la edición más reciente de estos valores.

- **PM10**

En el caso de las partículas, en el RD 1073/2002 se definen dos fases para alcanzar los objetivos deseados. Los valores límite de la fase 2 (2010) deberán revisarse a la luz de una mayor información acerca de los efectos sobre la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia en la aplicación de los valores límite de la fase 1 (2005) en los Estados miembros.

CUADRO N° 22: VALORES DE LÍMITES AMBIENTALES DE PM 10

Normativa-Valores de referencia	Tiempo de exposición	Valores límites ambientales
R.D. 1073/2002, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente	FASE 1 24 Horas Valor límite horario para la protección de la salud humana	50 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año
	FASE 2 24 horas Valor límite horario para la protección de la salud humana	50 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 7 ocasiones por año civil
INSHT	8 horas diarias	Fase inhalable: 10 mg/m ³
	8 horas diarias	Fase respirable: 3 mg/m ³

Normativa-Valores de referencia	Tiempo de exposición	Valores límites ambientales
OMS	Promedio 24 horas	50 µg/m ³
	Promedio anual	20 µg/m ³
EPA	Promedio 24 horas	150 µg/m ³
	Promedio anual	50 µg/m ³
UNE 171330-2: 2009. Procedimientos de Inspección de calidad ambiental en interior	PM ₁₀	< 50 µg/m ³ Valor Límite Máximo: 1.000 µg/m ³
	Conteo de partículas	Clase ISO 9 <35.200.000 part. de 0,5 micras/m ³

Y. **LEGISLACIÓN**

- R.D 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.
- Norma UNE 171330-1:2008. Calidad Ambiental en Interiores. Parte I: Diagnóstico de calidad ambiental interior.
- Norma UNE 171330-2:2009. Calidad Ambiental en Interiores. Parte II: Procedimientos. (20)

1. NORMAS Y DIRECTRICES EXISTENTES

Diferentes organizaciones internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Consejo Internacional de Investigación de Edificios (International Council of Building Research, CIBC), organizaciones privadas como la ASHRAE, países como Estados Unidos y Canadá, entre otros, están estableciendo normas y directrices de exposición. Por su parte, la Unión Europea (UE), a través del Parlamento Europeo, ha presentado una resolución sobre la calidad del aire en espacios de interior, donde se establece la necesidad de que la Comisión Europea proponga, lo antes posible, directivas específicas que incluyan:

- una lista de sustancias que deben prohibirse o regularse, tanto en la construcción como en el mantenimiento de edificios;
- normas de calidad aplicables a los diferentes tipos de ambientes de interior;
- protocolos de procedimiento para la gestión y mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y ventilación,
- normas mínimas para el mantenimiento de edificios abiertos al público.

Muchos compuestos químicos tienen olores y cualidades irritantes a concentraciones que, de acuerdo con nuestros conocimientos, no son peligrosas para los ocupantes de un edificio pero que pueden ser percibidos por un gran número de personas, para las que, por tanto, pueden resultar molestas.

CUADRO N° 23: NORMAS EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY DE ESTADOS UNIDOS

Concentración promedio			
Contaminante	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	Intervalo de tiempo para las exposiciones
Dióxido de azufre	80 ^a	0,03	1 año (media aritmética)
	365 ^a	0,14	24 horas ^c
	1.300 ^b	0,5	3 horas ^c
Partículas	150 ^{a,b}	—	24 horas ^d
	50 ^{a,b}	—	1 año ^d (media aritmética)
Monóxido de carbono	10.000 ^a	9,0	8 horas ^c
	40.000 ^a	35,0	1 hora ^c
Ozono	235 ^{a,b}	0,12	1 hora
Dióxido de nitrógeno	100 ^{a,b}	0,053	1 año (media aritmética)
Plomo	1,5 ^{a,b}	—	3 meses

^a Norma primaria. ^b Norma secundaria. ^c Valor máximo que no debe superarse más de una vez en un año. ^d Determinada como partículas de diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$.

Fuente: US Environmental Protection Agency. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards. Code of Federal Regulations, Título 40, Parte 50 (Julio 1990).

FUENTE: conferencia ETH en combustión generadora de nanopartículas zurich

Considerando el hecho de que no se recomienda el uso de normas de higiene profesional para el control del aire interior a menos que se aplique un factor de corrección, en muchos casos es mejor consultar los valores de referencia empleados como normas o directrices para la calidad del aire ambiente. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) de Estados Unidos ha establecido normas para el aire ambiente con el fin de proteger, con un margen de seguridad apropiado, la salud de la población en general (normas primarias) e incluso su bienestar (normas secundarias) contra los efectos adversos que puedan preverse debido a un contaminante específico. Por consiguiente, estos valores de referencia son útiles como guía general para establecer un patrón aceptable de calidad del aire para un espacio de interior determinado, y algunas normas, como las de la ASHRAE-92, los utilizan como criterios de calidad para la renovación del aire en un edificio cerrado. En la Tabla anterior se muestran los valores de referencia para el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el ozono, el plomo y la *materia particulada*. Por su parte, la OMS ha establecido normas con el fin de proporcionar una base para proteger la salud pública de los efectos adversos debidos a la contaminación del aire y a eliminar o reducir hasta un nivel mínimo los contaminantes del aire que se ha demostrado o se sospecha que son peligrosos para la salud y el bienestar humanos (OMS 1987).

En estas normas no se hacen distinciones con respecto al tipo de exposición en cuestión, por lo que cubren exposiciones debidas al aire atmosférico y a exposiciones que pueden ocurrir en espacios interiores. Para las sustancias cancerígenas, la EPA ha establecido el concepto de unidades de riesgo.

Representan un factor utilizado para calcular el aumento de la probabilidad de que un ser humano contraiga un cáncer debido a la exposición durante toda su vida a una sustancia cancerígena en el aire a una concentración de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El concepto es aplicable a sustancias que pueden estar presentes en el aire interior (metales como el arsénico, el cromo VI y el níquel;

compuestos orgánicos como el benceno, el acrilonitrilo y los hidrocarburos aromáticos policíclicos; o materia particulada, como el amianto).

Por último, debe recordarse que los valores de referencia se establecen, en general, basándose en los efectos conocidos de las diferentes sustancias sobre la salud. Aunque esto puede representar a menudo una ardua tarea en el caso del análisis del aire interior, no tiene en cuenta los posibles efectos sinérgicos de ciertas sustancias. Entre éstas se encuentran, por ejemplo, los compuestos orgánicos volátiles (COV). Algunos autores han apuntado la posibilidad de definir los niveles totales de concentración de compuestos orgánicos volátiles (COVT) al que los ocupantes de un edificio pueden comenzar a reaccionar. Una de las principales dificultades estriba en que, desde el punto de vista del análisis, la definición de COVT todavía no se ha resuelto para satisfacción de todos. En la práctica, el futuro establecimiento de valores de referencia en el relativamente nuevo campo de la calidad del aire interior estará determinado por el desarrollo de políticas ambientales. Ello dependerá de los avances del conocimiento en cuanto a los efectos de los contaminantes y de las mejoras en las técnicas analíticas que puedan ayudarnos a determinar estos valores. (9), (29), (30), (31)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO:

- Deductivo: se realizó la recolección de muestras de tres puntos diferentes del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica.
- Transversal: La recopilación de los datos se realizó entre noviembre y diciembre 2015.
- Científico: Se utilizó Protocolos de Monitoreo de Aire de la DIGESA de los Criterios de Calidad de Aire por la Normativa de la Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y el Estándar de Calidad Ambiental para Aire ECA.

Protocolos de Monitoreo de Aire de la DIGESA, el Manual de Métodos Analíticos (NMAM) según NIOSH de 1994 y los Estándares de Criterios de Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3.1.2. TÉCNICA:

- **Descriptivo – comparativo:** se realizó la investigación siguiendo paso a paso todo el Procedimiento del Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire, R.D. N° 1404/2005/DIGESA y se compararon los datos obtenidos del material particulado con la Normativa de Criterios de Calidad Ambiental de la Organización Mundial de la Salud.

3.1.3. DISEÑO:

Descriptivo, se siguieron todos los pasos que se indican en el Protocolo de Monitoreo de Aire para el muestreo y su respectiva lectura en el Laboratorio, de cuyos resultados obtuvimos las conclusiones descritas más adelante.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTREO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Población: Polvo respirable en la Avenida Pérez Aranibar distrito de Magdalena del Mar.

3.2.2. Muestra: Polvo respirable captado en los tres puntos de la Escuela de Farmacia de la Universidad Alas Peruanas.

3.3. VARIABLES E INDICADORES

TABLA N° 01: VARIABLES E INDICADORES

VARIABLE	INDICADORES
Niveles de material particulado	Guía de calidad de Aire y Límites Máximos Permisibles de la OMS-2005

Fuente: elaboración propia

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS:

3.4.1.1. Normativa de Criterios de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Se aplicó esta Normativa de Criterios de Calidad de Aire de la OMS para la comparación de los valores obtenidos de material particulado en polvo respirable.

3.4.1.2. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), (1994)

Se utilizó este manual para seguir un procedimiento adecuado de monitoreo del aire, como el uso de filtros personales marca SKC, escalas del monitoreo, selección de parámetros a monitorear, frecuencia del monitoreo y periodo de muestreo, selección de métodos de medición, criterios para la selección de métodos, descripción de los diferentes métodos, selección del sitio de muestreo, implementación de las estaciones de monitoreo, acceso, seguridad y un sistema de recolección de datos. (32)

3.4.1.3. Normativa de Criterios de Calidad de Aire de la OMS

Se aplicó la Normativa de Criterios de Calidad de Aire Ambiental de la OMS, para respectiva comparación de los valores obtenidos de material particulado en el polvo respirable.

3.4.1.4. Manual de Instrucciones Bomba de Muestreo AirLite – Código de catálogo: 110-100

Se hizo uso de este manual para seguir el procedimiento adecuado de monitoreo del aire, como también el uso de los filtros personales marca SKC, monitoreo, selección de parámetros, frecuencias del monitoreo, periodo de muestreos, selección de métodos de medición, descripción de los diferentes métodos. (33)

3.4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recolectó 09 muestras de polvo respirable del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica; para su respectiva lectura en el laboratorio Químico de la Dirección General de Salud Ambiental.

3.4.3. INSTRUMENTOS

Aparatos y materiales para la toma de muestra

- Bomba de succión o de muestreo: cuyo funcionamiento fue de manera continua durante el tiempo de muestreo requerido, permitiendo mantener constante el caudal de la bomba dentro de un intervalo de +/- 5% del caudal fijado durante su calibración.
- Medidor de caudal para la calibración de la bomba de muestreo. Se recomienda la utilización de un medidor de caudal de burbuja ya que sus lecturas son independientes de la temperatura y la presión atmosférica (CEN/TR 15230).
- Muestreador. Dispositivo diseñado para captar una o varias de las fracciones del aerosol definidas en la Norma UNE-EN 481 y que debe cumplir con lo establecido en la Norma UNE-EN 13205), relativa al funcionamiento de los instrumentos para la medición de

concentraciones de aerosoles, y en el documento técnico CEN/TR 15230.

- Casetts porta filtros Elemento de retención como filtro, espuma u otro que garantizan una eficacia de retención no inferior al 99 % del aerosol suspendido en el aire. La elección del elemento de retención viene condicionada, en general, por el sistema de muestreo utilizado y por consideraciones analíticas.
- Medidor de tiempo: utilizamos un cronometro

APARATOS Y MATERIALES PARA EL ANALISIS

- Microbalanza: Balanza analítica con sensibilidad mínima de 0,01 miligramos, es decir, capaz de pesar con una resolución de 1 o 10 microgramos (6 o 5 cifras, respectivamente).
- Cámara de humedad controlada. Recinto que contiene una disolución sobresaturada de una sustancia cristalina y cuyo fin es acondicionar los elementos de retención y mantener un nivel homogéneo de humedad durante el proceso de pesada.
- El uso de esta cámara es necesario para determinados elementos de retención y opcional para otros.
- Dispositivo para la eliminación de la electricidad estática (previo al pesado): que minimice los efectos producidos por la acumulación de electricidad estática en determinados elementos de retención. En el mercado existen diversos dispositivos como descargadores o equipos ionizadores, pistolas antiestáticas, barras de ionización, etc. que disipan la carga electrostática acumulada.
- Pinzas: de puntas planas y sin estrías en los bordes que eviten, en lo posible, el deterioro de los elementos de retención y la generación de cargas electrostáticas.

- Guantes: que eviten el contacto de la piel con los elementos de retención pero que no dificulten el proceso de manipulación.
- Utensilio para extraer el elemento de retención: que facilite, en caso necesario, la extracción del elemento de retención del muestreador.
- Desecador de sílica gel
- Desionizador con membrana de PVC
- Vaso de precipitado, de 125 ml y 50 ml, cubiertas con luna de reloj

3.4.4. PROCEDIMIENTO

3.4.4.1. Muestreo

- Antes de usar los muestreadores se comprobó que hayan estado completamente limpios y secos. Se tuvo en cuenta las recomendaciones del fabricante en todas las operaciones de limpieza y manipulación del muestreador. Se utilizaron ciclones, éstos se desmontaron e inspeccionaron. Si hubieran aparecido muestras o rayas en su interior debían haberse desechado.
- Se montó el elemento de retención previamente pesado en el muestreador seleccionado. El elemento de retención se manipuló únicamente con pinzas de puntas planas y el muestreador con el elemento de retención incorporado permaneció convenientemente cerrado hasta el comienzo del muestreo.
- Se calibró la bomba de muestreo al caudal requerido empleando un medidor de caudal y un muestreador conteniendo un elemento de retención del mismo lote que el utilizado en el muestreo. Antes de comenzar el muestreo, se retiraron las protecciones del muestreador y se conectó éste a la bomba mediante un tubo flexible, asegurándose de que no existen fugas ni estrangulamientos.
- Para mediciones en un punto fijo (Norma UNE-EN 689) se debe elegir una localización adecuada para el muestreo.

- Para iniciar el muestreo se puso en marcha la bomba y se anota la hora de comienzo de la toma de muestra. El tiempo de muestreo fue representativo a la duración de la exposición de los estudiantes, docentes y personal administrativo de la Facultad y tan largo como es razonablemente posible, evitando la colmatación del elemento de retención.
- Al finalizar la toma de muestra se anotó el tiempo transcurrido desde el inicio del muestreo. Se retiró el muestreador del sistema de muestreo y se volvió a cerrar para evitar pérdidas o contaminaciones durante su traslado al laboratorio.
- Se tomó nota de la referencia de la muestra y todos los datos relativos al muestreo.

Con el mismo muestreador y elemento de retención utilizados en la calibración previa, se verificó y anotó el caudal de la bomba tras el muestreo. El caudal al final del periodo de muestreo debió haberse mantenido dentro del $\pm 5 \%$ del valor ajustado inicialmente. La muestra se considera no válida cuando la diferencia entre los caudales medidos antes y después de la toma de muestra supera dicho 5 %.

3.4.4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Procedimiento de análisis

- **Limpieza**

El área próxima a las balanzas se mantuvo libre de polvo y de cualquier elemento que pueda afectar a la estabilidad de la pesada. Las mesas y áreas de trabajo se limpiaron con paños húmedos o toallas adsorbentes.

El plato de la balanza o los accesorios para la pesada de los elementos de retención, así como pinzas, espátulas u otros utensilios de laboratorio, pueden limpiarse cuidadosamente con alcohol y tejidos desechables no fibrosos.

- **Condiciones para la determinación gravimétrica**

La balanza fue ubicada en el laboratorio donde las condiciones ambientales estén debidamente controladas (temperaturas que osciló a los 20 °C y humedad relativa próxima al 50 %).

NOTA: Fue conveniente que el local no presente ventanas y se evitaron las corrientes de aire y las fuentes de energías radiantes o electromagnéticas. Se recomienda, asimismo, que durante las determinaciones gravimétricas únicamente permanezca en este local la persona que las está realizando, como se realizó en la presente investigación.

- **Calibración de la balanza y control de calidad**

Calibración periódica: La balanza fue calibrada periódicamente para comprobar su correcto funcionamiento y que los resultados obtenidos hayan sido consistentes y reproducibles. El resultado de la calibración quedó reflejado en el correspondiente certificado de calibración.

- **Verificación de las condiciones de uso de la balanza**

De forma periódica, por ejemplo mensualmente, se puede realizar una serie de actuaciones para verificar la sensibilidad y repetitividad de su balanza analítica.

La comprobación del ajuste del cero (o tara) antes de cada pesada y la utilización de la opción de autocalibración (mediante pesas internas),

disponible ya en muchas balanzas, son actuaciones cotidianas que contribuyen al control del funcionamiento de la balanza.

- Control de calidad

Los equipos e instrumentos utilizados durante el análisis gravimétrico estuvieron incluidos en un programa de mantenimiento, calibración y control de calidad debidamente documentado y recogido en el procedimiento de trabajo.

Las situaciones más habituales que afectan a la precisión de las determinaciones gravimétricas y que son detectables con un adecuado control de calidad están asociadas a deficiencias o mal funcionamiento de la balanza, de la cámara de humedad controlada o del sistema de eliminación de cargas electrostáticas; a variaciones en la calidad o composición de los elementos de retención y a diferencias entre analistas.

- Control de calidad interno

El laboratorio disponía de un sistema de control de calidad interno que permitía identificar y actuar ante situaciones donde la calidad de las determinaciones gravimétricas del laboratorio pueda verse comprometida.

NOTA: Por ejemplo, el empleo de blancos intercalados entre las muestras de campo nos permitían detectar variaciones sistemáticas en la masa debido a posibles absorciones o evaporaciones durante el proceso de pesado.

- Control de calidad externo

Fue conveniente que el laboratorio participara en el programa de control de calidad externo donde se pudo contrastar la calidad de sus determinaciones gravimétricas.

- Procedimiento de medida

En la determinación gravimétrica fue necesario pesar el elemento de retención tanto antes como después de la toma de muestra. Para ello, los elementos de retención fueron manipulados cuidadosamente y colocados sobre los soportes que facilitaron su acondicionamiento y/o eliminación de posibles cargas estáticas. Los elementos de retención se trataron de forma idéntica antes y después de la toma de muestra, realizándose las pesadas en la misma balanza y por la misma persona.

- Acondicionamiento del elemento de retención

Los elementos de retención que requirieron acondicionamiento se introdujeron en la cámara de humedad durante un periodo mínimo de 24 horas, para que la temperatura y la humedad de dicho elemento se hayan equilibrado con las existentes en el interior de la cámara.

- Pesada del elemento de retención

Inmediatamente antes de proceder a la pesada se eliminó con el correspondiente dispositivo la posible carga electrostática existente en la superficie del elemento de retención ya que ésta pudo ser una fuente de error importante en algunas determinaciones gravimétricas. Previamente a la pesada del elemento de retención la balanza ha sido ajustada a cero. La pesada se realizó depositando el elemento de retención sobre el plato o accesorio específicamente diseñado para la balanza.

Para minimizar los errores asociados a las operaciones con la balanza se efectuó al menos tres pesadas del elemento de retención y como resultado, el valor medio de las mismas.

Factores como la humedad o la electricidad estática pudieron generar diferencias entre pesadas (por ejemplo, pueden ser superiores a 10 μg para balanzas con sensibilidad de 1 μg). En tal caso, se debió efectuar alguna pesada adicional.

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

**TABLA N° 02: DETERMINACIÓN DE LA MASA DE POLVO
RESPIRABLE MUESTREADO**

código	Punto de muestro	Hora de muestreo	Tiempo de muestreo	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Polvo respirable	unidades
PR-LAB-14-31	1er p	8:40 am	20 min	15.730	15.742	0.012	mg/muestra
PR-LAB-14-32	1er p	2:00 pm	20 min	15.805	15.816	0.011	mg/muestra
PR-LAB-14-33	1er p	6:15 pm	20 min	16.210	16.218	0.008	mg/muestra
PR-LAB-14-28	3er p	9:20 am	20 min	15.900	15.918	0.018	mg/muestra
PR-LAB-14-29	3er p	2:30 pm	20 min	16.106	16.121	0.015	mg/muestra
PR-LAB-14-30	3er p	6:45 pm	20 min	16.002	16.018	0.016	mg/muestra
PR-LAB-14-34	5to p	9:50 am	20 min	15.988	16.016	0.028	mg/muestra
PR-LAB-14-35	5to p	3:00 pm	20 min	15.714	15.736	0.022	mg/muestra
PR-LAB-14-36	5to p	7:15 pm	20 min	16.007	16.030	0.023	mg/muestra

Fuente: Elaboración propia

INTERPRETACION

En la tabla de resultados N° 02 se puede observar que se realizaron muestreos por triplicado en los diferentes pisos del edificio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica en diferentes horarios (mañana,

tarde y noche), cada muestreo con un tiempo de duración de 20 minutos, se tuvo en cuenta el peso inicial y peso final de los discos para poder hacer los cálculos posteriores y obtener la cantidad de polvo respirable retenido en los discos; como se puede ver los resultados fueron para el primer piso de 0.012, 0.011 y de 0.008 mg/muestra; para el tercer piso los resultados fueron de 0.018, 0.015 y 0.016 mg/muestra y para el quinto piso los resultados fueron de 0.028, 0.022 y 0.023; donde podemos observar que hay mayor concentración de polvo respirable en el piso más alto y una concentración más baja en el piso inferior del edificio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.

TABLA N° 03: RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS EN PROMEDIO

Código laboratorio	Punto de muestreo	peso inicial promedio	peso final promedio	Polvo respirable
		(ug)	(ug)	(ug)
PR-LAB-14-31,32,33	1er piso	15.915	15.931	0.016
PR-LAB-14-28,29,30	3er piso	16.003	16.013	0.010
PR-LAB-14-34,35,36	5to piso	15.903	15.927	0.024

Fuente: Elaboración propia

INTERPRETACION

En la tabla de resultados N° 03 se realizó un promedio de los valores obtenidos por triplicado de cada uno de los pisos para poder trabajar con un solo valor y poder compararlo con los valores Límites Máximos Permisibles de material particulado en el polvo respirable con el captado del edificio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.

TABLA N° 04: DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AIRE MUESTREADO

Código laboratorio	Flujo muestreado de aire (L/min)	Tiempo muestreado (min)	Volumen de aire muestreado (m3)
PR-LAB-14-31,32,33	2.18	20	0.0436
PR-LAB-14-28,29,30	2.18	20	0.0436
PR-LAB-14-34,35,36	2.18	20	0.0436

FUENTE: Elaboración propia

INTERPRETACION

En la tabla de resultados N° 04 se determinó el volumen de aire muestreado que fue de 0.0436 m³, utilizando para ello el flujo muestreado de aire en L/min y el tiempo de muestreo que fue de 20 minutos.

**TABLA N° 05: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
POLVO RESPIRABLE EN AIRE**

Código laboratorio	Punto de muestreo	Polvo respirable	Volumen de aire muestreado	Concentración de polvo respirable
		(ug)	(m3)	(ug/m3)
PR-LAB-14-31,32,33	1 piso	0.016	0.0436	0.37
PR-LAB-14-28,29,30	3 piso	0.010	0.0436	0.23
PR-LAB-14-34,35,36	5 piso	0.024	0.0436	0.55

Fuente: elaboración propia

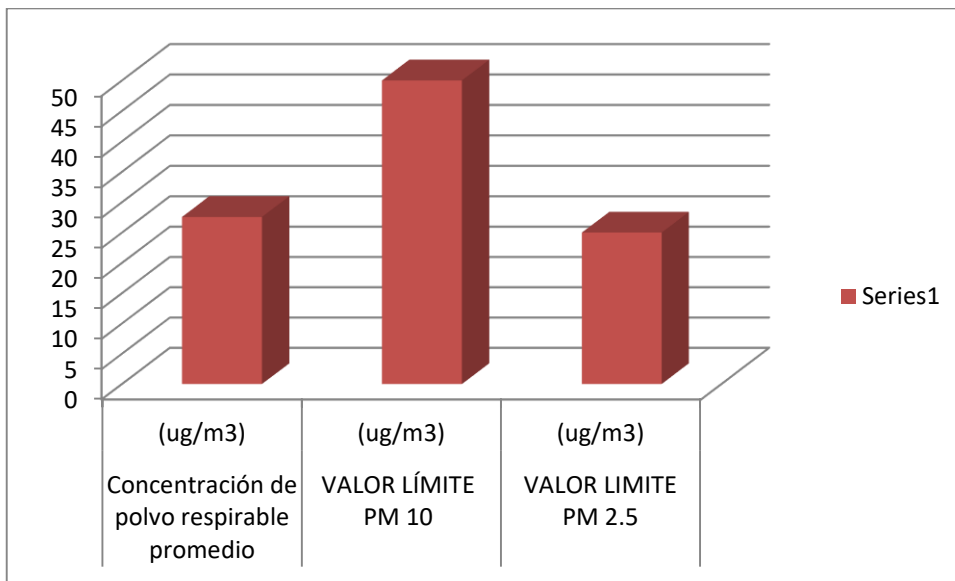
INTERPRETACION

En la tabla de resultados N° 05 , se determinó la concentración de polvo respirable de cada uno de los pisos de donde se tomaron las muestras, para ello se necesitó el volumen de aire muestreado obtenido de la tabla anterior con el resultado del polvo respirable obtenido en los discos que fueron tomadas en el edificio, donde los resultados fueron de 0.37 ug/m3 para el primer piso, 0.23 ug/m3 para el tercer piso y 0.55 ug/m3 para el quinto piso, donde podemos observar que hay mayor concentración para el primer y quinto piso del edificio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas

TABLA N° 6: VALOR PROMEDIO DE MATERIAL PARTICULADO HALLADO

Concentración de polvo respirable promedio	VALOR LÍMITE PM 10	VALOR LIMITE PM 2.5
(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)
27.576	50	25

GRAFICA N° 8: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE POLVO RESPIRABLE EN AIRE



INTERPRETACION

En la gráfica se puede observar que el valor promedio obtenido de material particulado 27.576 ug/m3 / hora supera el límite permisible para PM 2.5, pero que es inferior al establecido para PM10.

TABLA N° 07: COMPARACION CON VALORES REFERENCIALES

Estandar de calidad ambiental para aire (ECA) DECRETO SUPREMO N° 003-2008- MINAM	Unidad	Observación
0.025	ug/m3	Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM2,5)

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIONES

En la investigación de la Ing. MARIELLA ROSSANA ATALA ALVAREZ Coordinadora de Calidad Atmosférica titulada **MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS INMEDIACIONES DE LA PLANTA DE CEMENTOS LIMA S.A.A EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO. MAYO 2014.**

Para el monitoreo de calidad del aire se utilizaron 02 muestreadores de alto volumen para material particulado menor a 10 micras (PM 10) y 02 para material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5). La ubicación de los puntos de monitoreo fueron en la azotea de la vivienda en la Av. 26 de Noviembre N° 2584 y en la azotea de la vivienda ubicada en el Jr. Áncash N°388 (Parque Atocongo).

Los resultados obtenidos con los que se concluyeron la investigación fueron que las concentraciones de Material Particulado menor a 10 micras, no supera el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas) en los dos puntos de monitoreo CA-VM-01 y CA-VM-02; Las concentraciones de Material Particulado menor a PM2.5 obtenidas durante el periodo de monitoreo realizado del 20 al 24 de diciembre de 2013 en el punto Virgen de Lourdes (CA-VM-01) superan el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas) los días 20, 21, 22 y 23 de diciembre con 81.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 58.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 70.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 60.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Con los resultados de esta investigación incluida como antecedente nacional podemos corroborar y afirmar los resultados obtenidos de la presente **DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE OBTENIDO EN EL PERIMETRO DE LA ESCUELA DE FARMACIA Y BIOQUIMICA DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**, donde al realizar la comparación de los niveles encontrados

de material particulado PM 10 los resultados no superan lo establecido por la normativa (50 ug/m³ / 24 horas), sin embargo para material particulado PM 2.5 (25 ug/m³ / 24 horas), los valores del primer piso (0.37 ug/m³ muestreo por 20 minutos) equivalente a 26.64 ug/m³ por 24 horas y el del quinto piso (0.55 ug/m³ muestreo por 20 minutos) equivalente a 39.60 ug/m³ por 24 horas, éstos superan lo establecido por los Límites Máximos Permisibles de los Criterios de Calidad de Aire por la Normativa de la Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y el Estándar de Calidad Ambiental para Aire ECA.

En la investigación **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DE LAS VIVIENDAS BENEFICIADAS DEL RECAMBIO EN LA REGIÓN DE AYSÉN** Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente Región de Aysén en el 2015,

En la determinación de las concentraciones de material particulado de PM10, los resultados para la escuela Santa Rosa de Lima fue el mayor nivel que se dio el 19 de noviembre del 2007 con un valor de concentración de 147µg/m³; los valores que reportaron en esta estación van de 54 µg/m³ a 147µg/m³ y observando una constante de concentración que se da durante casi todo el periodo de muestreo que va entre 80 - 90 µg/m³.

En la concentración de PM10 arrojados en la estación de la Alcaldía se observó un aumento con una concentración de 158 µg/m³, la concentración para esta estación oscila entre 60 a 85 µg/m³ y los valores de concentración menor y mayor van desde 58 µg/m³ a 158 µg/m³ respectivamente, **superando en ambos casos el límite permisible de los estándares de calidad de aire**. En el periodo de análisis, el valor promedio de PM10 es de 82,57 ug/m³.

Los resultados de esta investigación incluida como antecedente internacional nos permite comparar los resultados obtenidos, ya que estos

difieren de los de la **DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE OBTENIDO EN EL PERIMETRO DE LA ESCUELA DE FARMACIA Y BIOQUIMICA DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**, donde al realizar el análisis de los niveles encontrados de material particulado PM 10 los resultados no superan lo establecido por la normativa (50 ug/m³ / 24 horas), en el caso de la evaluación de material particulado PM 2.5 no se obtuvieron resultados para poder realizar la comparación con nuestro trabajo ni corroborar lo establecido por los Límites Máximos Permisibles de los Criterios de Calidad de Aire por la Normativa de la Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y el Estándar de Calidad Ambiental para Aire ECA.

En la Investigación realizada por KAREN ANETH MIRANDA ROMERO y LUZ ADRIANA ORTIZ FLOREZ titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SUSPENDIDO PM10 Y SU RELACIÓN CON LA MORBILIDAD ASOCIADOS A ERA'S EN NIÑOS MENORES A CATORCE AÑOS POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA AGUDA EN EL MUNICIPIO DE TOLUVIEJO (SUCRE) - UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA BOGOTÁ, D.C. 2008**

En la investigación se analizó la relación entre la concentración de material particulado (PM10) y la morbilidad en niños menores de 14 años por enfermedades respiratorias agudas en el municipio de Toluviéjo (SUCRE), dentro de los meses de Noviembre a Diciembre de 2007 utilizando un modelo lineal generalizado (Regresión de Poisson), de igual forma se estableció la influencia de los factores meteorológicos (temperatura, precipitación, vientos) en las concentraciones de material particulado (PM10) por medio de una regresión lineal múltiple.

Se realizó el inventario de las emisiones de fuentes móviles y fijas del municipio de Toluviéjo, seleccionando las industrias ubicadas en el área de

influencia de cada una de las estaciones de muestreo y se determinaron los factores de riesgo intradomiciliarios que inciden en la calidad de aire del municipio de Toluviéjo.

Para el muestreo diario de la concentración de PM₁₀, se seleccionaron los sitios de monitoreo, uno de ellos ubicado en la escuela Santa Rosa de Lima y el otro en la Alcaldía del municipio de Toluviéjo, los cuales nos permitieron determinar las respectivas concentraciones; teniendo en cuenta las características y técnicas de seguridad, para que los datos que se fueran a obtener sean representativos y confiables, de igual forma buscando preservar el estado y la seguridad de los equipos.

Se utilizaron dos equipos Hi-Vol, los cuales fueron suministrados por la Corporación autónoma regional de Sucre (CARSUCRE). La información de consultas por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) se obtuvo del Departamento Administrativo de Salud de Salud (DASSALUD), el cual maneja los Registros Individuales de Procedimientos en Salud (RIPS) de los tres centros de salud del municipio de Toluviéjo: Episalud, Tolusalud y San José de Toluviéjo.

Por último, se elaboró un mapa de riesgo de la población susceptible afectada por las concentraciones de PM₁₀ teniendo en cuenta la procedencia de los vientos, ubicación de los niños menores de 14 años enfermos por ERA y la localización de las industrias que hacen parte del municipio de Toluviéjo.

Los resultados de esta investigación incluida como antecedente internacional nos permite comparar los resultados obtenidos, ya que estos difieren de los de la **DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE OBTENIDO EN EL PERIMETRO DE LA ESCUELA DE FARMACIA Y BIOQUIMICA DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**, donde al realizar el análisis de los niveles encontrados de

material particulado PM 10 los resultados no superan lo establecido (50 ug/m³ / 24 horas) por los Límites Máximos Permisibles de los Criterios de Calidad de Aire por la Normativa de la Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y el Estándar de Calidad Ambiental para Aire ECA.

CONCLUSIONES

- Por los resultados obtenidos en la parte experimental realizada usando la técnica de gravimetría, se logró determinar los niveles de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.
- Se Identificó la presencia de material particulado en el aire captado siendo los valores obtenidos en el primer piso de 0.37 ug/m³, en el tercer piso de 0.23 ug/m³ y en el quinto piso de 0.55 ug/m³, muestras tomadas por un lapso de 20 minutos cada una, obteniendo así un promedio de muestreo de material particulado de 0.383 ug/m³ en el edificio de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.
- Se realizó la comparación del valor promedio de los niveles encontrados de material particulado en el edificio de la Escuela de Farmacia y Bioquímica siendo éste de 0.383 ug/m³ con tiempo de muestreo de 20 minutos, que para muestreo de una hora equivale a 27.576 ug/m³, que comparado con los Límites Máximos Permisibles de los Criterios de Calidad de Aire por la Normativa de la Calidad de Aire Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y el Estándar de Calidad Ambiental para Aire ECA el resultado supera los límites para material particulado PM 2.5 (PM 2.5 = 25ug/m³ / hora).

RECOMENDACIONES

- Es importante realizar continuos estudios posteriores a éste teniendo en cuenta la diversidad de contaminantes que hay en el medio y que además tanto libres como asociados puedan ocasionar posteriores graves enfermedades pulmonares, además de ser estos grandes contaminantes del medio ambiente.
- Los efectos generados en la salud de las personas que se encuentran expuestas a contaminación intradomiciliaria PM10, debe servir para fomentar medidas preventivas en la población para que se pueda controlar de alguna manera estos contaminantes y sus factores que la producen, y así disminuir la tasa de morbilidad por enfermedades respiratorias que se vengán presentando en la ciudad.
- Elaborar planes de control de contaminantes que signifiquen un riesgo potencial en la salud de la población sobretodo en niños y en ancianos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CALIDAD DE AIRE INTERIOR, OSMAN OBSERVATORIO DE SALUD Y MEDIO AMBIENTE DE ANDALUCIA
http://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824
2. DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10* CÉSAR AUGUSTO ARCINIÉGAS SUÁREZ1
cearsu@yahoo.es Manizales, 2011-08-12 (Rev. 2011-11-30)
3. CONSEJERÍA DE SALUD, CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, JUNTA DE ANDALUCÍA. Plan Andaluz de Salud ambiental 2008-2012. 2008.
4. LVOVSKY K. ENVIRONMENT STRATEGY PAPERS: HEALTH AND ENVIRONMENT. STRATEGY SERIES NUMBER 1. ENVIRONMENT, OCTOBER 2001. (3) ENVIRONMENT MATTERS AT THE WORLD BANK. ANNUAL REVIEW 2006. (4) EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. ENVIRONMENT AND HEALTH. EEA REPORT NO 10/2005. 2005.
5. DOCUMENTOS DE SANIDAD AMBIENTAL, CALIDAD del AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DE USO PÚBLICO. Morales M., Blanco Acevedo V., García Nieto A., Web-aire. Pdf, SALUD MADRID, PRIMERA EDICION, 2010.
6. MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS INMEDIACIONES DE LA PLANTA DE CEMENTOS LIMA S.A.A EN EL DISTRITO DE

VILLA MARÍA DEL TRIUNFO. Ing. MARIELLA ROSSANA ATALA ALVAREZ Coordinadora de Calidad Atmosférica. MAYO 2014.

7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL VERTICAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM10 DEL MEDIO ATMOSFÉRICO URBANO EN SEGUNDA JERUSALÉN-RIOJA-SAN MARTÍN-PERÚ”.
8. DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10* Dr. CÉSAR AUGUSTO ARCINIÉGAS SUÁREZ - Manizales, 2011-08-12. *cearsu@yahoo.es*
9. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR - RIESGOS GENERALES, ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, Xavier Guardino Solá, Derrick Crump 2010.
10. MEDICIONES DE PARTÍCULAS RESPIRABLES Y CO2 EN PUESTOS DE TRABAJO, CONSORCIO CRECER – INSTITUTO DE DESARROLLO HUMANO - BOGOTÁ 2003
11. CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO (PM10 y PM 2.5) Maestro en D.U.A. Arq. Vicente A. Silva C. Observatorio Urbano de León Coordinador de la Mesa del Medio Ambiente
12. GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AIRE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, DR. MARCELO E. KORC, AGENCIA ESPECIALIZADA DE LA ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS/OMS). Lima, 2004

13. GUÍAS DE CALIDAD DEL AIRE DE 1987 PARA EL MATERIAL PARTICULADO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS, 1987.
14. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES EDIFICIOS SALUDABLES PDF PARTE 2
15. SPENGLER J, CHEN Q. INDOOR AIR QUALITY FACTORS IN DESIGNING A HEALTHY BUILDING. ANNU REV ENERGY ENVIRON 25:567-601, 2000.
16. FURTAW E, PANDIAN M, NELSON D, BEHAR J. MODELING INDOOR AIR CONCENTRATIONS NEAR EMISSION SOURCES IN IMPERFECTLY MIXED ROOMS. J AIR WASTE MANAG ASSOC 46(9):861-868, 1996.
17. EFECTOS DE LOS EDIFICIOS SOBRE LA SALUD: ¿QUÉ ES LO QUE SABEMOS? TED SCHETTLER SCIENCE AND ENVIRONMENTAL HEALTH NETWORK ELABORADO PARA LA REUNIÓN DEL INSTITUTO DE MEDICINA (IOM), 10-11 DE ENERO DE 2006 INSTITUCIONES SANITARIAS ECOLÓGICAS: SALUD, MEDIOAMBIENTE, ECONOMÍA
18. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES, EDIFICIOS SALUDABLES PARA TRABAJADORES SANOS, BOLETÍN SALUD LABORAL, PARTE 2.PDF
19. PEDRO BARREDA. CONTAMINACIÓN EN LA CASA (INTRADOMICILIARIA).
DISPONIBLE:
[TTP://WWW.PROFESORENLINEA.CL/ECOLOGIAAMBIENTE/CONTAMINACIÓN](http://WWW.PROFESORENLINEA.CL/ECOLOGIAAMBIENTE/CONTAMINACIÓN)

20. MORALES M., BLANCO ACEVEDO V., GARCÍA NIETO A., DOCUMENTOS DE SANIDAD AMBIENTAL, CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DE USO PÚBLICO. WEB-AIRE. PDF, SALUD MADRID, PRIMERA EDICION, 2010.
21. INSTITUTO SINDICAL DE TRABAJO, AMBIENTE Y SALUD (ISTAS), LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO. 5ta Edic. 2007.
22. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR EMISIONES DE PARTÍCULAS EN FUENTES ESTACIONARIAS DE COMBUSTIÓN; ESTUDIO DE CASO: BOGOTÁ, 2006 Allen D., 2002.
23. CONFERENCIA ETH EN COMBUSTIÓN GENERADORA DE NANOPARTÍCULAS ZURICH. Agosto, 2003.
24. CALIDAD DEL AIRE EXTERIOR Y SALUD, CENTRO DE PRENSA DE LA OMS, Nota descriptiva N°313, Marzo de 2014
25. MODELO DE IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CRÍTICOS EN LIMA – CALLAO. 2012. Juan Manuel Rivera Poma. Disponible: <http://Cybertesis.unmsm.edu.pe.lima2012>
26. CONFERENCIA ETH EN COMBUSTIÓN GENERADORA DE NANOPARTÍCULAS ZURICH. Agosto, 2003.

27. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA ESPACIO – TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO PM10 CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS. Edison Enrique Garrillo. Venezuela – 2010.
28. EFECTOS DE LOS EDIFICIOS SOBRE LA SALUD: ¿QUÉ ES LO QUE SABEMOS? TED SCHESSLER SCIENCE AND ENVIRONMENTAL HEALTH NETWORK ELABORADO PARA LA REUNIÓN DEL INSTITUTO DE MEDICINA (IOM), INSTITUCIONES SANITARIAS ECOLÓGICAS: SALUD, MEDIOAMBIENTE, ECONOMÍA. 10-11 de enero de 2006.
29. AGENCIA INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CÁNCER (IARC). 1986. TOBACCO SMOKING. Vol. 38. Lyon: IARC.
30. EL SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO. GUÍA PARA SU EVALUACIÓN. MADRID: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, Berenguer, MJ, X Guardino, A Hernández, MC Martí, C Nogareda, MD Solé. 1994.
31. CALIDAD DEL AIRE: GASES PRESENTES A BAJAS CONCENTRACIONES EN AMBIENTES CERRADOS. Freixa, A. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO Madrid 1993.
32. MANUAL DE INSTRUCCIONES BOMBA DE MUESTREO AIRLITE – CÓDIGO DE CATÁLOGO: 110-100, SKC Inc. 863 Valley View Road 84.
33. NIOSH. MANUAL OF ANALYTICAL METHODS (NMAM). 4TA. ED. 1994.
DISPONIBLE: [HTTP://WWW.CDC.GOV/NIOSH/DOCS/2003-154/](http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/)

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título del Proyecto de Tesis: “DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE OBTENIDO EN EL PERIMETRO DE LA ESCUELA DE FARMACIA Y BIOQUIMICA DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	METODO Y DISEÑO DE INVESTIGACION	VARIABLES	POBLACION Y MUESTRA
<p>¿Cuáles serán los niveles de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas?</p>	<p>Determinar los niveles de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>- O.E.1: Identificar la presencia de material particulado en el aire obtenido en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.</p> <p>- O.E.2: Comparar los niveles encontrados de material particulado en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica con los Límites Máximos Permisibles según los Criterios de la Calidad de Aire Ambiental de la Normativa de la Organización Mundial de la Salud.</p>	<p>Los niveles de material particulado en el polvo respirable del aire obtenido del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica son altos.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>- Existiría presencia de material particulado en el polvo respirable del aire capturado del perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Alas Peruanas.</p> <p>- Los valores obtenidos de material particulado en el aire capturado en el perímetro de la Escuela de Farmacia y Bioquímica, presentarían niveles mayores a lo establecido por la Normativa de Criterios de Calidad de Aire Ambiental de la Organización Mundial de la Salud.</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptiva • Correlacional • Transversal <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Descriptivo</p>	<p>Método de Investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deductivo • Transversal • Científico <p>Diseño de Investigación:</p> <p>Descriptivo, se siguieron todos los pasos que se indican en el Protocolo de Monitoreo de Aire para el muestreo y su respectiva lectura en el Laboratorio, de cuyos resultados obtuvimos las conclusiones descritas.</p>	<p>Variable</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nivel de material particulado <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guía de calidad de Aire y Límites Máximos Permisibles de la OMS-2005. 	<p>Población:</p> <p>Polvo respirable en la Av. Aranibar distrito de Magdel Mar.</p> <p>Muestra: polvo respirable captado en los tres puntos Escuela de Farmacia Universidad Alas Peruanas</p>

--	--	--	--	--	--	--