



INDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICAire) Marco conceptual y cálculos Actualización año 2010

Introducción

El Departamento de Montevideo cubre un total de 530 km² con un 40% de área urbana y una población de 1.350.000 habitantes (Unidad Estadística, IMM, año 2005). Las costas sobre el Río de la Plata, la predominancia de vientos y el relieve donde no destacan accidentes topográficos de importancia, colaboran con la buena calidad del aire de la ciudad.

La evaluación y vigilancia de la calidad del aire son igualmente necesarias para tomar medidas a tiempo a fin de prevenir y disminuir la presencia de contaminantes en aire, y asegurar a la población el mantenimiento de la calidad del recurso. En respuesta a esta necesidad durante los años 2003-2004, el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental de la Intendencia Municipal de Montevideo realizó una intensa campaña de monitoreo, a efectos de establecer la línea de base de la calidad del aire en la ciudad. En el año 2005 se comenzó a operar la Red de Monitoreo de Calidad del Aire, para la cual se establecieron protocolos estandarizados para la ubicación y manejo de las estaciones, periodicidad de los muestreos y validación de los datos recabados.

Al iniciar la Red de Monitoreo de Calidad de Aire uno de los desafíos planteados fue establecer mecanismos de comunicación más ágiles, que permitieran difundir los resultados y las conclusiones en forma periódica y sencilla. Una de las características de la Red es su heterogeneidad, esto quiere decir, que los parámetros monitoreados no son los mismos en todas las estaciones, sumado a la dificultad aportada por valores guías diferentes para cada parámetro. Por consiguiente, la diversidad de sustancias evaluadas y las diferentes metodologías de monitoreo utilizadas, hacen confusa la transmisión de la información. A efectos de hacer más comprensible los resultados se estableció un **Índice de Calidad de Aire (ICAire)**.

El Índice de Calidad de Aire transforma las concentraciones de los diferentes contaminantes a una escala arbitraria, igual para todos, que permite rápidamente evaluar si se encuentran sobre los niveles de referencia utilizados y, en caso afirmativo, cuánto sobrepasan dicho valor.

La Intendencia de Municipal de Montevideo, a través del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, comenzó a publicar los resultados de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire el 5 de junio del año 2007, utilizando esta herramienta para la comunicación de los resultados a través del sitio web y paneles electrónicos.



¿Qué es el Índice de Calidad de Aire, ICAire?

El Índice de calidad de Aire de Montevideo, ICAire, es un valor representativo de los niveles de contaminación del aire asociados a una región determinada en el tiempo transcurrido del monitoreo. El mismo se reporta semanalmente con los resultados obtenidos en la semana anterior, por lo que no constituye un índice predictivo, sino informativo.

El índice de calidad propuesto, ICAire, se calcula a partir de una función, que tiene en cuenta los niveles recomendados por diferentes organismos internacionales y por las autoridades nacionales y municipales competentes. Se basa en establecer una escala arbitraria entre 0-400 que relacione la concentración del parámetro evaluado con un valor guía preestablecido. El valor del ICAire así obtenido permite calificar la calidad del aire en seis categorías, que se asocian a colores que van desde el verde al rojo.

En Montevideo, al presente, se evalúa la concentración de Material Particulado Total (PTS), Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM10), Humo Negro (HN), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO) y Ozono (O₃), a través de 8 estaciones de muestreo.

Las estaciones están georreferenciadas mostrando la calidad del aire en el mapa de Montevideo, a través de los colores de la escala del ICAire



Mapa 1: Distribución de estaciones de monitoreo de aire.

Los informes semanales se publican en cartelería electrónica ubicada en diferentes zonas de la ciudad y en el sitio web de la IMM. El enlace de acceso es:

<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/aire/ICAire>

El mapa de calidad de aire por zona se publica además en el sitio de información territorial de la IMM, al que se puede acceder siguiendo la anterior dirección o a través de la dirección:



<http://intgis.montevideo.gub.uy/sit/index.htm> señalando la opción Medio Ambiente, Calidad de Aire.

¿Cómo se calcula el ICAire?

El Índice se calcula para cada contaminante por separado, tomando 100 como base, valor a partir del cual se considera que la concentración de ese contaminante en el aire, supera el valor estándar deseable en el aire urbano.

Para cada parámetro se utiliza una ecuación diferente, de forma de transformar cada valor de contaminante a un valor adimensional de igual significado para todos. Esta función relaciona la concentración del contaminante monitoreada en un lapso preestablecido y el Índice de Calidad del Aire (ICAire) para cada parámetro. Esto permite comparar los diferentes contaminantes con una base común e identificar el presente en mayor proporción con relación a la normativa vigente.

En la escala que se utiliza, un ICAire menor o igual a 100 corresponde a la calificación de muy buena, buena o aceptable para las actividades que se realizan al aire libre.

Desde el año 2007 hasta la fecha la escala utilizada fue la presentada en la Tabla1.

| Lapso muestreo en horas | PTS | PM10 | Humo Negro | SO2 | NO2 | CO | O3 | Indice | Calidad |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|------------|
| | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | | |
| | 24 | 24 | 24 | 24 | 1 | 8 | 8 | | |
| Nivel 1 | 100 | 75 | 75 | 50 | 75 | 7 | 100 | 50 | Buena |
| Nivel 2 | 150 | 100 | 100 | 125 | 200 | 10 | 160 | 100 | Aceptable |
| Nivel 3 | 375 | 150 | 150 | 365 | 500 | 15 | 240 | 200 | Inadecuada |
| Nivel 4 | 563 | 225 | 225 | 550 | 1130 | 22 | 540 | 300 | Mala |
| Nivel 5 | 845 | 340 | 340 | 825 | 2260 | 33 | 1080 | 400 | Muy mala |

Tabla 1: Valores guía utilizados hasta el 2009 en la publicación del ICAire.



Actualización 2010

Luego de transcurridos dos años y medio utilizando el ICAire como forma de comunicación de los resultados, el grupo de técnicos del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental de la Intendencia Municipal de Montevideo, y de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, relacionados con la Gestión de la Red de Monitoreo de Aire, se incorpora la adecuación de las categorías de calidad de aire utilizados hasta el momento.

Las propuestas para el año 2010 son las siguientes:

1. Incorporar una nueva franja en el Nivel 1 a la que se le asigna el valor MUY BUENO, correspondiendo a un ICAire menor que 25.
2. Desagregar la información recabada por la red en forma manual de la automática.
3. Incorporar en los Niveles 1, 2 y 3, siempre que sea posible, las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005) para los objetivos de calidad de aire.

1. Escala Actualizada

Con la incorporación de una nueva franja en Nivel 1, la escala general de ICAire de 0 a 400 se modifica de la siguiente forma:

| | | | | |
|---------|-----------|------------|--|---|
| Nivel 1 | 0 a 25 | Muy Buena | | Calidad aire optima |
| Nivel 1 | 26 a 50 | Buena | | Situación favorable a la realización de todo tipo de actividades |
| Nivel 2 | 51 a 100 | Aceptable | | Calidad aceptable para la mayoría de las personas |
| Nivel 3 | 101 a 200 | Inadecuada | | Aparición de molestias en personas sensibles |
| Nivel 4 | 201 a 300 | Mala | | Molestias e intolerancia en personas con padecimiento respiratorio |
| Nivel 5 | 301 a 400 | Muy Mala | | Aparición de síntomas e intolerancia en la población |

Categorías del ICAire en la escala actualizada.

Muy Buena: Si el ICAire está entre 0 y 25, se considera que la calidad del aire es muy buena.

Buena: Si el ICAire está entre 26 y 50, se considera que la calidad del aire es buena.

Aceptable: Si el ICAire se encuentra entre 51 y 100, la calidad del aire es aceptable. A pesar de que existen algunos contaminantes presentes en el aire, los niveles en que se encuentran no presentan riesgos para la mayoría de la gente, siendo posible que algunas personas especialmente sensibles se vean afectadas.

Inadecuada: Aparición de molestias en personas sensibles cuando el ICAire está entre 101 y 200. En general, la mayoría de la gente no se ve afectada cuando el ICAire se encuentra en estos niveles.

Mala: Cualquier persona puede comenzar a sentir efectos en salud. Los valores de ICAire entre 201 y 300 pueden provocar efectos severos en los individuos sensibles.

Muy mala: Los ICAire mayores a 301 significa que la presencia del contaminante puede provocar efectos en salud en cualquier persona.



La escala de cálculo para los diferentes parámetros monitoreados queda establecida como:

| Lapso muestreo en horas | PTS | PM10 | Humo Negro | SO2 | NO2 | CO | O3 | Indice | Calidad |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|------------|
| | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | ug/m ³ | | |
| | 24 | 24 | 24 | 24 | 1 | 8 | 8 | | |
| Nivel 1 | 60 | 50 | 50 | 20 | 40 | 4,5 | 80 | 25 | Muy Buena |
| Nivel 2 | 100 | 75 | 75 | 50 | 75 | 7 | 100 | 50 | Buena |
| Nivel 3 | 150 | 100 | 100 | 125 | 200 | 10 | 160 | 100 | Aceptable |
| Nivel 4 | 375 | 150 | 150 | 365 | 500 | 15 | 240 | 200 | Inadecuada |
| Nivel 5 | 563 | 225 | 225 | 550 | 1130 | 22 | 540 | 300 | Mala |
| Nivel 6 | 845 | 340 | 340 | 825 | 2260 | 33 | 1080 | 400 | Muy mala |

Nueva Tabla 1: Valores guía utilizados en la publicación del ICAire.

2. Desagregación de la Red

La Red de Monitoreo de Calidad de Aire cuenta con dos tipos de estaciones:

Estaciones manuales: Funcionan durante 24 horas y permiten obtener el valor promedio en el período. Los muestreos se realizan cada seis días. Los parámetros que se determinan de esta forma son material particulado total (PTS), material particulado menor a 10 micras (PM10), Humo Negro (HN), y acidez (asimilable a SO2).

Para las estaciones manuales se calculan los índices de todos los parámetros evaluados en dicha estación. El Índice que caracteriza la zona en estudio corresponde al **peor** valor obtenido en el período de referencia. El parámetro con el que se obtuvo el mayor ICAire se denomina Parámetro Predominante.

Estaciones automáticas: Funcionan continuamente y permiten recabar los datos horarios. Los parámetros que se determinan en esta forma son material particulado menor a 10 micras (PM10), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O3).

Para las estaciones automáticas, se calculan los índices de todos los parámetros evaluados en cada estación todos los días y se establece el ICAire diario, característico de la zona como el ICAire mayor observado en el día. Como ejemplo, si en una estación se determinan cuatro parámetros, y tres tienen calificación ICAire *Muy Buena* y uno *Aceptable* se considera la calificación de la estación *Aceptable* y se informa el parámetro con el que se obtuvo el mayor ICAire (Parámetro Predominante).

3. Recomendaciones OMS para objetivos de calidad de aire

Para establecer el índice ICAire se tomaron en cuenta diversas experiencias exitosas de otros países latinoamericanos en cuanto a la efectividad de la comunicación por este medio. Los límites que se utilizaron para establecer las diferentes categorías de la calidad del aire surgen a partir de los niveles sugeridos por el Grupo de



Estandarización (GESTA - Aire) de la Comisión Técnico Asesora de Medio Ambiente, COTAMA, por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Resolución municipal del año 1992 vigente hasta la fecha.

En la propuesta actual se mantiene el Nivel 3 tal como estaba planteado en la versión anterior (año 2007), por lo que la categoría de INADECUADO es comparable a los resultados obtenidos hasta ahora. La modificación se introduce para las categorías Buena y Aceptable, incorporando las recomendaciones que la Organización Mundial de Salud (OMS) ha propuesto en el año 2005.

Luego de la publicación de las Guías de Calidad de Aire (GCA) de la OMS del año 2000, ha aumentado la evidencia científica y la convicción a nivel mundial de los problemas de salud pública asociados a la contaminación del aire. La OMS inició una consulta con expertos en epidemiología y toxicología ambiental para la actualización de las GCA. Este grupo se reunió en Bonn, los días 19-20 de octubre de 2005, donde se publicaron las nuevas Guías de Calidad de Aire. Se estableció la evidencia creciente de efectos perjudiciales para la salud respecto a calidad de aire y la dificultad de los investigadores en lograr identificar con claridad un umbral o nivel bajo el cual no aparece algún efecto adverso. Esto es difícil de traducir en normativa aplicable ya que hasta ahora un valor guía implica una “concentración de compuestos químicos en el aire que no ejerce un efecto adverso en la salud.”

La actual versión corregida de las GCA de la OMS aporta valores de orientación actualizados de tres entre los cuatro agentes contaminantes examinados (material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre) y se divide en **Valores Guía (GCA)**, que son concentraciones objetivo a alcanzar para una buena calidad del aire y **Objetivos intermedios**, previstos como escalones en una reducción progresiva de la concentración de los parámetros evaluados en el aire.

Para ajustar el ICAire a estas nuevas pautas, se incorpora el nivel MUY BUENO como el valor GCA sugerido por la OMS y se correlacionan los niveles intermedios con los valores objetivos intermedios. El nivel 3 (INADECUADO) no se modifica, correspondiendo al valor que se establece en la normativa vigente.



Parámetros determinados en Montevideo

Parámetro: Material Particulado

El material particulado en el aire está integrado por partículas sólidas y pequeñas gotitas líquidas que se encuentran dispersas en la atmósfera. Algunas de éstas se emiten directamente en la atmósfera por acción del hombre o naturalmente, otras se forman en el aire a partir de reacciones que se dan espontáneamente entre otras sustancias presentes en el aire. Estas partículas pueden ser de un amplio rango de tamaños, clasificándose por su diámetro en:

Partículas menores a 100 um de diámetro efectivo (PTS), también llamadas partículas totales en suspensión, corresponde a todas las partículas que es posible encontrar suspendidas en el aire. Las partículas mayores de 100 um de diámetro efectivo sedimentan. No es posible realizar fácilmente una correlación directa entre las partículas menores a 100 um y las afecciones de la salud.

Partículas menores a 10 um de diámetro efectivo (PM10): Son de mayor riesgo para la salud. Estas partículas se asocian a la combustión de los motores de los automóviles, quema de leña y la quema de combustible por parte de la industria.

Humo Negro: Son partículas emitidas fundamentalmente por el uso de combustible fósil. No está totalmente definido el tamaño de partícula que corresponde al humo negro aunque la comunidad internacional se inclina a asociarlo con el material particulado menor que 10 micras. Debido a la metodología utilizada para su determinación se correlaciona exclusivamente con las partículas de color negro emitidas durante la combustión y es un buen estimador de la calidad del aire respirable.

¿Cómo afecta la salud el material particulado?

Las partículas menores a 10 um de diámetro pueden agravar el número de problemas asociados a enfermedades respiratorias. Estos efectos pueden ser vistos en términos de exposición de cortos períodos (24 horas) y de mediano plazo (un año, por ejemplo).

Los grupos sensibles corresponden a personas con enfermedades pulmonares, ancianos y niños pequeños. Los síntomas más comunes son fatiga, dificultad para respirar, alergias, dolor en el pecho, asma, y puede incrementarse la susceptibilidad a infecciones respiratorias



Dióxido de Azufre

El dióxido de Azufre es un gas incoloro y reactivo producido a partir de la quema de combustible que contiene azufre (como por ejemplo fuel oil y carbón). Las calderas industriales y las plantas de producción de potencia son las principales fuentes de emisión de este gas.

¿Cómo afecta la salud el dióxido de azufre?

El dióxido de azufre es mayoritariamente retenido en la nariz, sin embargo, las personas sensibles son afectadas por su presencia. El primer efecto a nivel pulmonar corresponde a la contracción de los bronquios (broncoespasmo), que se incrementa con la concentración de dióxido de azufre. A muy altas concentraciones las personas sanas experimentan los mismos síntomas. Las exposiciones crónicas pueden causar enfermedades respiratorias, alterando el mecanismo de defensa del pulmón y agravando otras dolencias cardiovasculares preexistentes.

Dióxido de Nitrógeno

El componente mayoritario de la atmósfera terrestre es el Nitrógeno (N_2), por consiguiente, los compuestos conteniendo nitrógeno están presentes en la atmósfera en diversas concentraciones. Sin embargo, la asociación de los óxidos de nitrógeno a la actividad humana y el hecho de ser precursores de muchas reacciones químicas en la atmósfera (por ejemplo, formación del ozono), lo transforman en un contaminante de gran interés.

El Dióxido de Nitrógeno (NO_2), es un gas coloreado, en una gama que va desde el amarillo al marrón según la concentración presente en el ambiente. Tiene un olor irritante, y es muy corrosivo por su capacidad de reacción en la atmósfera. En general, la mayoría de los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera a bajas concentraciones están bajo la forma de dióxido.

¿Cómo afecta la salud el dióxido de nitrógeno?

El dióxido de Nitrógeno no tienen un efecto tan directo sobre la salud como los otros contaminantes determinados en la red de monitoreo de la calidad del aire. Existe cierta evidencia de asociación entre la exposición a altos valores de dióxido de nitrógeno ambiental y un aumento en las afecciones respiratorias en población sensible, si bien no hay acuerdo respecto a la causa asignable de este aumento, considerándose estos resultados como preliminares.



Parámetro: Ozono

El ozono (O₃) está naturalmente presente en las altas capas de la atmósfera y protege la superficie de los rayos ultravioletas de mayor energía provenientes del sol. Esta capa se ha visto debilitada por acción de compuestos químicos que se conocen como dañinos para la “capa de ozono”. En las últimas décadas es común la referencia al “agujero de la capa de ozono” sobre los polos Norte y Sur, como el “buen ozono”.

Sin embargo, el ozono que se encuentra a nivel del aire que respiramos (tropósfera) es un contaminante importante, responsable del llamado smog fotoquímico y conocido como el “mal ozono”. No se emite directamente sino que se produce a partir de reacciones químicas de otros contaminantes (Óxidos de Nitrógeno e Hidrocarburos) y radiación solar. Por lo tanto es común que el ozono se produzca en lo que se llama aire envejecido, ya que se produce dos o tres días después de la emisión de los contaminantes primarios.

¿Cómo afecta la salud el ozono?

El ozono afecta directamente el sistema respiratorio a nivel de los pulmones. Como la concentración de ozono troposférico se incrementa en el verano, uno de los grupos de mayor riesgo son los niños que generalmente pasan mucho tiempo al aire libre en ese período.

Las personas con enfermedades respiratorias son más vulnerables a las concentraciones altas de ozono troposférico. Se ha comprobado que algunas personas son especialmente sensibles al ozono, y experimentan efectos a niveles menores que el promedio. El ozono puede irritar el sistema respiratorio causando irritación en la garganta y tos, e incrementar el ritmo respiratorio.

Las altas concentraciones de ozono aumentan las crisis de las personas asmáticas y la susceptibilidad a infecciones respiratorias.



Parámetro: Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro y sin olor característico. Se forma partir de la combustión incompleta de combustible. Según estudios internacionales, el transporte contribuye al 95 % de la concentración de monóxido de carbono en ciudad.

¿Cómo afecta la salud monóxido de carbono?

El monóxido de carbono ingresa en el torrente sanguíneo e interacciona con hemoglobina, proteína responsable del transporte del oxígeno a las células, reduciendo la cantidad de oxígeno que llega a los órganos y tejidos. Las personas con enfermedades del sistema cardiovascular pueden experimentar dolor u otros síntomas si están expuestos al monóxido de carbono, especialmente están realizando ejercicios.

Aumenta el riesgo de contraer enfermedades en la población con problemas respiratorios. Los altos niveles de exposición al monóxido de carbono en la población sana, pueden afectar la visión.



CALCULOS DE ICAIRE PARA TODOS LOS PARAMETROS DE LA RED

Material Particulado Total _ PTS:

El material particulado total se mide en 3 estaciones: Colón, Curva de Maroñas, La Teja. Dado que las guías de estándares de calidad de aire de la OMS no recomiendan este parámetro para evaluar la calidad del aire, se ha definido convertir paulatinamente estas estaciones hacia la medida de PM10 (material particulado menor a 10 micras), lo que se realizará durante los primeros meses del año 2010.

Mientras no se haga efectivo el cambio previsto, se mantendrá la siguiente tabla, y en la medida que se modifiquen las estaciones se tomará como base la tabla 2

| Material Particulado Total – 24 horas de exposición | | | | |
|---|-------------------|--------|------------|---|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 60 | 25 | Muy Buena | Valor guía promedio anual correspondiente a la resolución municipal (1992) |
| Nivel 2 | 100 | 50 | Buena | Valor intermedio entre las guías establecidas |
| Nivel 3 | 150 | 100 | Aceptable | Valor guía promedio máximo de 24 horas de exposición correspondiente a la resolución municipal (1992) |
| Nivel 4 | 375 | 200 | Inadecuada | Valor que guía del Grupo GESTA, que no debe excederse en más de una vez en el año. |
| Nivel 5 | 563 | 300 | Mala | Excede el 50% el valor anterior |
| Nivel 6 | 845 | 400 | Muy mala | Excede el 50% el valor anterior |

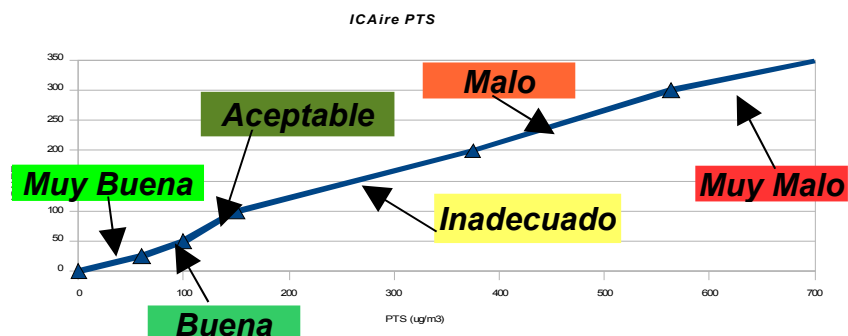
Tabla 2: Valores guía utilizados en la publicación del ICAire, para PTS.

Las ecuaciones de calculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Promedio 24 horas | PTS ug/m ³ | a X + b = PTS | | Icaire |
|-------------------|-----------------------|---------------|-----|--------|
| | | a | b | |
| hasta | 60 | 0,4 | 0 | 25 |
| hasta | 100 | 0,6 | -13 | 50 |
| hasta | 150 | 1,0 | -50 | 100 |
| hasta | 375 | 0,4 | 33 | 200 |
| hasta | 563 | 0,5 | 1 | 300 |
| hasta | 845 | 0,4 | 100 | 400 |

Tabla 3: Ecuación ICAire para PTS

Ejemplo, si el PTS es 30 ug/m³,
el ICAire se calcula = PTS*a+b=30*0,4+0=12
Corresponde a calidad de aire Muy Buena.





Material Particulado con diámetro menor a 10 micras _ PM10:

El material particulado se mide en 4 estaciones, en tres de ellas (Ciudad Vieja, Centro, Tres Cruces) en forma manual y en la estación Colón en forma horaria automática. En ambos casos se toma el promedio de 24 horas.

Para los diferentes sitios se toman los valores de la tabla 4.

| PM10 – 24 horas de exposición | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------|------------|--|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 50 | 25 | Muy Buena | Valor guía OMS (GCA) para 24 horas de exposición |
| Nivel 2 | 75 | 50 | Buena | Valor Objetivo 3 OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 3 | 100 | 100 | Aceptable | Valor guía 24 horas IMM |
| Nivel 4 | 150 | 200 | Inadecuada | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 5 | 225 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 340 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

Tabla 4: Valores guías utilizados para el cálculo de ICAire PM10

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

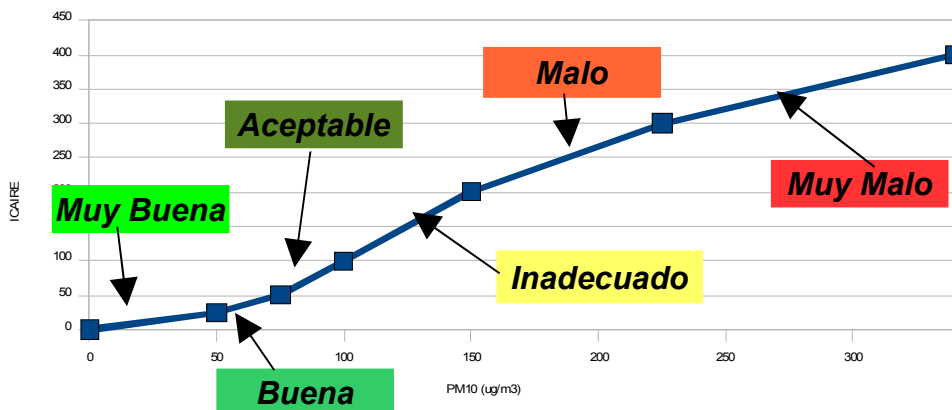
| Promedio | PM10 | a X+ b = PM10 | | |
|----------|-------------------|---------------|------|--------|
| 24 horas | ug/m ³ | a | b | Icaire |
| hasta | 50 | 0,5 | 0 | 25 |
| hasta | 75 | 1,0 | -25 | 50 |
| hasta | 100 | 2,0 | -100 | 100 |
| hasta | 150 | 2,0 | -100 | 200 |
| hasta | 225 | 1,3 | 0 | 300 |
| hasta | 340 | 0,9 | 104 | 400 |

Tabla 5: Ecuaciones de cálculo ICAire PM10

Ejemplo, si el PM10 es 70 ug/m3, corresponde a calidad de aire **Buena**.

$$PM10 * a + b = 70 * 1 - 25 = 45$$

ICAire PM10





Humo Negro (Black Carbon):

El Humo Negro se determina en 4 estaciones (Ciudad Vieja, La Teja, Prado y Portones de Carrasco).

No existen valores guía actuales para el Humo Negro, (los anteriores estándares que se utilizan en Montevideo fueron publicados en 1992) sin embargo se sabe que las partículas de humo negro están formadas por una aglomeración de carbono elemental con sulfatos hidratados e hidrocarburos. El diámetro de estos aglomerados es menor que 10 micrometros por lo que sería razonable utilizar para este parámetro valores similares a los que se usan para PM10

Para los diferentes sitios se toman los valores de la tabla 6.

| HUMO NEGRO – 24 horas de exposición | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|--------|------------|--|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 50 | 25 | Muy Buena | Asimilado a PM10 |
| Nivel 2 | 75 | 50 | Buena | Asimilado al PM10 |
| Nivel 3 | 100 | 100 | Aceptable | Asimilado a PM10 |
| Nivel 4 | 150 | 200 | Inadecuada | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 5 | 225 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 340 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

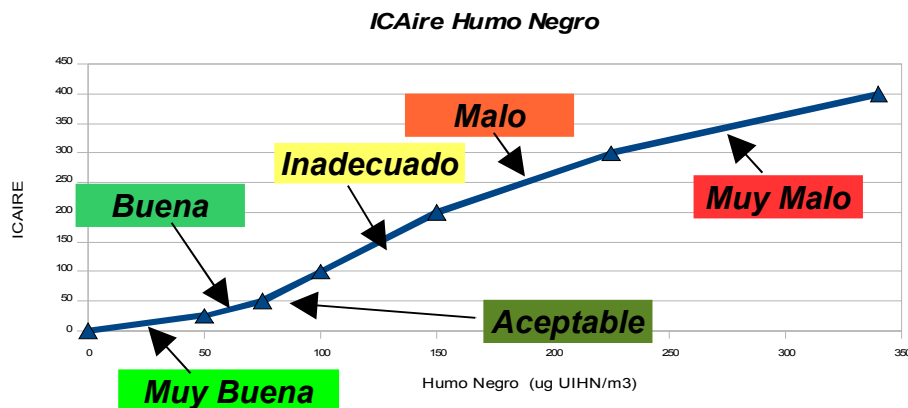
Tabla 6 Valores Guía utilizados en el cálculo del ICAire para Humo Negro

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Promedio 24 horas | HN | a X+ b =HN | | Icaire |
|----------------------|-------------------|------------|------|--------|
| | ug/m ³ | a | b | |
| hasta | 50 | 0,5 | 0 | 25 |
| hasta | 75 | 1,0 | -25 | 50 |
| hasta | 100 | 2,0 | -100 | 100 |
| hasta | 150 | 2,0 | -100 | 200 |
| hasta | 225 | 1,3 | 0 | 300 |
| hasta | 340 | 0,9 | 104 | 400 |

Tabla 7: Ecuaciones de cálculo ICAire Humo Negro

Ejemplo, si el HN es 20 ug/m³, $HN \cdot a + b = 20 \cdot 0,5 - 0 = 10$
Corresponde a calidad de aire **Muy Buena**.





Dióxido de Azufre

Dióxido de Azufre determinada como acidez

El Dióxido de Azufre, como acidez se determina en 4 estaciones (Ciudad Vieja, La Teja, Prado y Portones de Carrasco).

Para los diferentes sitios se toman los valores de la tabla 7.

| Dióxido de azufre como acidez– 24 horas de exposición | | | | |
|---|-------------------|--------|------------|--|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 20 | 25 | Muy Buena | GCA OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 2 | 50 | 50 | Buena | Valor Objetivo 1 OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 3 | 125 | 100 | Aceptable | Valor Objetivo 2 OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 4 | 365 | 200 | Inadecuada | Gesta Aire |
| Nivel 5 | 550 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 825 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

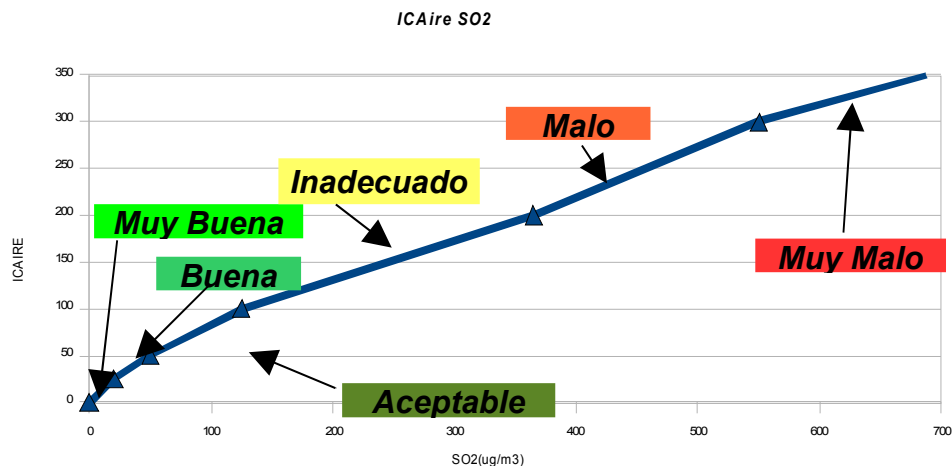
Tabla 8 valores guía en el cálculo del ICAire para dióxido de azufre como acidez

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Promedio 24 horas | SO ₂ ug/m ³ | a X+ b =SO ₂ | | Icaire |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----|--------|
| | | a | b | |
| hasta | 20 | 1,3 | 0 | 25 |
| hasta | 50 | 0,8 | 8 | 50 |
| hasta | 125 | 0,7 | 17 | 100 |
| hasta | 365 | 0,4 | 48 | 200 |
| hasta | 550 | 0,5 | 3 | 300 |
| hasta | 825 | 0,4 | 100 | 400 |

Tabla 9 ecuaciones de cálculo del ICAire

Ejemplo, si el SO₂ es 100 ug/m³, El ICAire se calcula = SO₂*a+b=100*0,7+17=87
Corresponde a calidad de aire **Aceptable**.





Red automática: Cálculo del ICAire

Parámetro: Dióxido de azufre promedio de 24 horas determinada en forma horaria

El Dióxido de Azufre (SO₂), en forma horaria se determina en 4 estaciones: Ciudad Vieja y Prado con un sensor electroquímico; Centro y Colón con equipos espectrofotométricos.

| Dióxido de azufre – Promedio de 24 horas de exposición | | | | |
|--|-------------------|--------|------------|--|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 20 | 25 | Muy Buena | GCA OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 2 | 50 | 50 | Buena | Valor Objetivo 1 OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 3 | 125 | 100 | Aceptable | Valor Objetivo 2 OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 4 | 365 | 200 | Inadecuada | Gesta Aire |
| Nivel 5 | 550 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 825 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

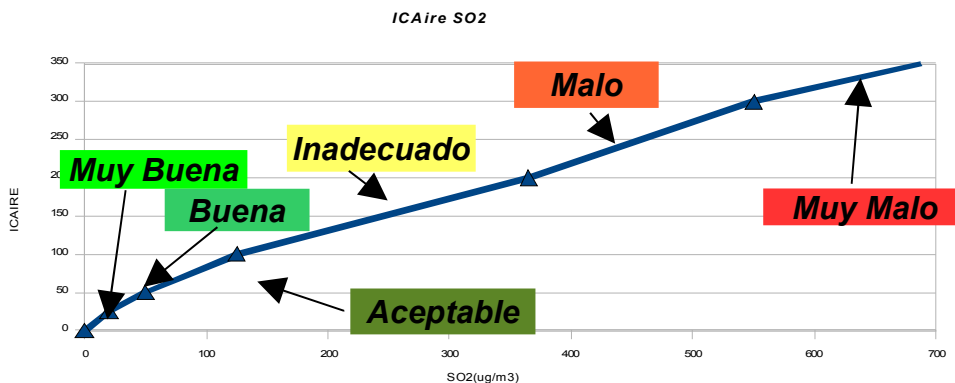
Tabla 10 Valores guía en la determinación de dióxido de azufre

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Promedio 24 horas | SO ₂ ug/m ³ | a X+ b =SO ₂ | | Icaire |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----|--------|
| | | a | b | |
| hasta | 20 | 1,3 | 0 | 25 |
| hasta | 50 | 0,8 | 8 | 50 |
| hasta | 125 | 0,7 | 17 | 100 |
| hasta | 365 | 0,4 | 48 | 200 |
| hasta | 550 | 0,5 | 3 | 300 |
| hasta | 825 | 0,4 | 100 | 400 |

Tabla 11 Ecuaciones de Cálculo del ICAire ,

Ejemplo, si el SO₂ es 40 ug/m³, Se calcula el ICAire como= SO₂*a+b=40*0,8+8=40 corresponde a calidad de aire **Buena**.





Dióxido de nitrógeno promedio de 24 horas determinada en forma horaria

El Dióxido de nitrógeno en forma horaria se determina en 4 estaciones: Ciudad Vieja y Prado (sensor electroquímico); Centro y Colón (equipos espectrofotométricos).

| Dióxido de nitrógeno – Máximo en 24 horas de exposición | | | | |
|---|-------------------|--------|------------|---------------------------------------|
| | ug/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 40 | 25 | Muy Buena | Máximo promedio anual recomendado OMS |
| Nivel 2 | 75 | 50 | Buena | Máximo promedio anual vigente en IMM |
| Nivel 3 | 200 | 100 | Aceptable | GCA OMS para 24 horas de exposición |
| Nivel 4 | 500 | 200 | Inadecuada | Valor actual recomendado OMS |
| Nivel 5 | 1130 | 300 | Mala | 50% superando el valor anterior |
| Nivel 6 | 2260 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor anterior |

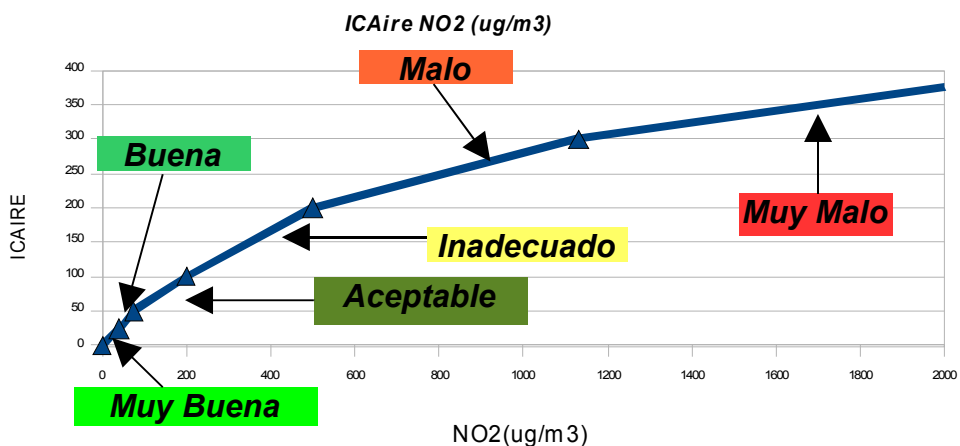
Tabla 12 Valores guía en la determinación de dióxido de nitrógeno,

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Máximo 24 horas | NO ₂ ug/m ³ | a | b | Icaire |
|-----------------|-----------------------------------|-----|-----|--------|
| hasta | 40 | 0,6 | 0 | 25 |
| hasta | 75 | 0,7 | -4 | 50 |
| hasta | 200 | 0,4 | 20 | 100 |
| hasta | 500 | 0,3 | 33 | 200 |
| hasta | 1130 | 0,2 | 121 | 300 |
| hasta | 2260 | 0,1 | 200 | 400 |

Tabla 13 Ecuaciones de Cálculo del ICAire ,

Ejemplo, si el NO₂ es 75 ug/m³, se calcula el ICAire como NO₂*a+b=75*0,7-4=50 corresponde a calidad de aire Buena.





Parámetro: Monóxido de Carbono

Monóxido de carbono promedio móvil de 8 horas

El monóxido de carbono (CO), en forma horaria, se determina en 4 estaciones: Ciudad Vieja y Prado (con un sensor electroquímico) y Centro y Colón (con equipos espectrofotométricos). En este caso se calcula el promedio móvil de 8 horas de exposición y se toma el máximo valor observado en el día.

| Monóxido de Carbono – Máximo en 24 horas de promedio móvil de 8 horas | | | | |
|---|-------------------|--------|------------|---|
| | mg/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 4,5 | 25 | Muy Buena | Valor guía para el promedio anual (IMM) |
| Nivel 2 | 7 | 50 | Buena | Valor intermedio entre categorías |
| Nivel 3 | 10 | 100 | Aceptable | GCA OMS máximo diario para 8 horas móviles en 24 h. |
| Nivel 4 | 15 | 200 | Inadecuada | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 5 | 22 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 33 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

Tabla 14 Valores guía en la determinación de monóxido de carbono

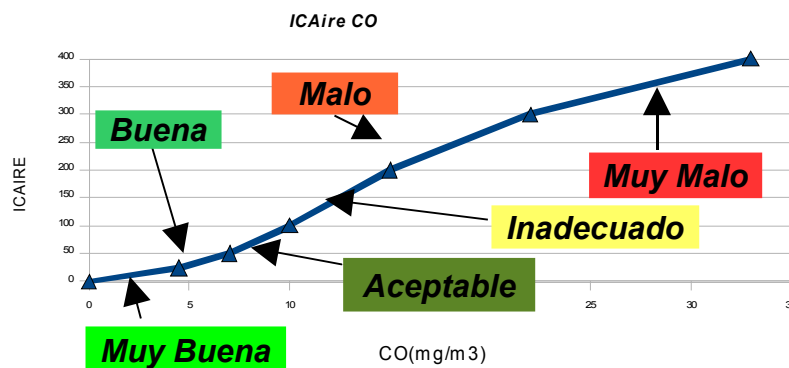
En la última revisión, la OMS no ajustó los valores guías de CO, por lo que se opta por no cambiar los valores que se están utilizando hasta ahora, e introducir una categoría intermedia entre los niveles de mejor calidad.

Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Máximo 8 horas en 24 horas | CO | | a | b | Icaire |
|----------------------------------|-------------------|--|------|------|--------|
| | mg/m ³ | | | | |
| hasta | 4,5 | | 5,6 | 0 | 25 |
| hasta | 7 | | 10,0 | -20 | 50 |
| hasta | 10 | | 16,7 | -67 | 100 |
| hasta | 15 | | 20,0 | -100 | 200 |
| hasta | 22 | | 14,3 | -14 | 300 |
| hasta | 33 | | 9,1 | 100 | 400 |

Tabla 15 Ecuaciones cálculo ICAire

Si el promedio móvil de la concentración de 8 horas, máximo en el día 6 mg/m³ el ICAire se calcula = CO*a+b=6*10-20=40 y la calidad del aire es BUENA





Parámetro: Ozono

Ozono promedio móvil de 8 horas

El ozono, en forma horaria, se determina en la estación Centro con equipos que utilizan metodología espectrofotométrica en la detección.

En este caso se calcula el promedio móvil de 8 horas de exposición y se toma el máximo valor observado en el día.

| Ozono– Máximo en 24 horas de promedio móvil de 8 horas | | | | |
|--|-------------------|--------|------------|--|
| | mg/m ³ | Indice | Calidad | Límite del nivel elegido |
| Nivel 1 | 80 | 25 | Muy Buena | Máximo promedio anual (OMS) |
| Nivel 2 | 100 | 50 | Buena | GCA OMS máximo diario para 8 horas móviles en 24 h. |
| Nivel 3 | 160 | 100 | Aceptable | Primeros efectos detectados a nivel pulmonar según estudio de la OMS |
| Nivel 4 | 240 | 200 | Inadecuada | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 5 | 360 | 300 | Mala | 50% superando el valor ICAire anterior |
| Nivel 6 | 540 | 400 | Muy mala | 50% superando el valor ICAire anterior |

Tabla 16 Valores guía en la determinación de ozono

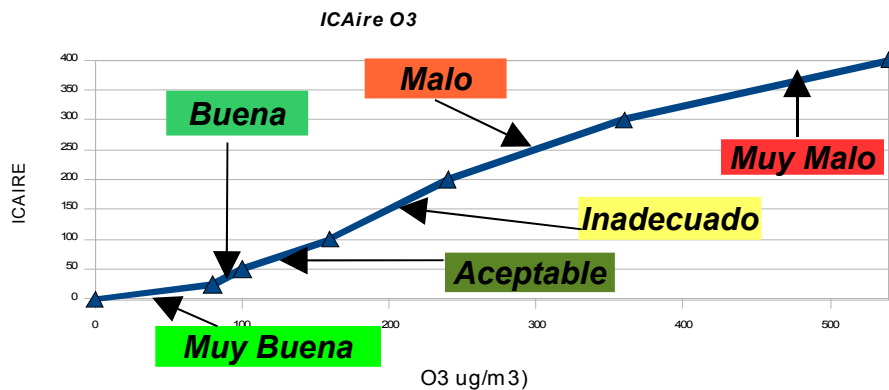
Las ecuaciones de cálculo de ICAire, se calculan en cada nivel para los parámetros a y b.

| Máximo 8 horas en 24 horas | O3 ug/m ³ | a | b | Icaire |
|----------------------------|----------------------|-----|------|--------|
| hasta 80 | 80 | 0,3 | 0 | 25 |
| hasta 100 | 100 | 1,3 | -75 | 50 |
| hasta 160 | 160 | 0,8 | -33 | 100 |
| hasta 240 | 240 | 1,3 | -100 | 200 |
| hasta 360 | 360 | 0,8 | 0 | 300 |
| hasta 540 | 540 | 0,6 | 100 | 400 |

Tabla 15 Ecuaciones cálculo ICAire

Ejemplo: si el máximo de 8 horas móviles de ozono es 150 el ICAire es de 87 y la calidad del aire es ACEPTABLE.

$$O3 * a + b = 150 * 0,8 - 33 = 87$$





Glosario

OMS – *Organización Mundial de la Salud*
IMM – *Intendencia Municipal de Montevideo*
DINAMA- *Dirección Nacional de Medio Ambiente*
GCA-OMS - *Valor guía de calidad de aire de la OMS*
Valor Objetivo 1 OMS- *valores Guía intermedio.*

PTS- *Material Particulado Total*
PM10 *Material Particulado de diámetro efectivo menor a 10 um*
HN- *Humo Negro*
SO₂- *Dióxido de azufre*
CO- *Monóxido de carbono*
O₃- *Ozono*
NO₂- *Dióxido de nitrógeno*

ug/m³- *microgramos por metro cúbico*
mg/m³- *miligramos por metro cúbico.*
um- *micrómetros*

Bibliografía

OMS-OPS. *Guía de calidad de aire, Actualización mundial 2005, Organización Panamericana de la Salud.*

WHO. Air quality guidelines global update 2005. World Health Organization, Regional Office for Europe- Web site: www.euro.who.int

IMM-LCA Informes anuales de Calidad de Aire, años 2004/2005/2006/2007/2008- Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, Departamento de Desarrollo Ambiental, Intendencia Municipal de Montevideo.

Sitio web: <http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/aire/informes>

IMM-ICAire (2007) Índice de Calidad de Aire. Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, Departamento de Desarrollo Ambiental, Intendencia Municipal de Montevideo.

Sitio web: <http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/aire/ICAire>