



## ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA (CHACO)

Casas, Luis E.<sup>1</sup>, Gonzalez Mario<sup>2</sup>

### INTRODUCCION

La contaminación del aire resulta de una compleja suma de miles de fuentes de emisión que van desde las industrias y los vehículos automotores, hasta el uso de productos de limpieza domésticos y pinturas, e incluso la vida animal y vegetal. En la búsqueda de caracterizar y cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricas que se producen en la Ciudad de Resistencia, los inventarios de emisiones resultan ser una herramienta útil, debido a que permiten identificar los sectores relevantes por su mayor aporte de contaminantes al aire, información que puede ser utilizada para direccionar los esfuerzos en la reducción de la contaminación. Por lo tanto los inventarios de emisiones se convierten en una herramienta indispensable para la gestión de la calidad del aire.

### OBJETIVO DEL ESTUDIO

Con el fin de realizar un seguimiento cuantificable a los principales contaminantes que afectan el aire de la Ciudad, se establecen unos procedimientos por los cuales se recolecta la información para determinar la cantidad y peligrosidad de dicha contaminación, basados en los protocolos de monitoreo estipulados y cumpliendo las normas o estándares nacionales e internacionales, la Secretaria de Ambiente del Municipio de Resistencia en Convenio con la consultora particular de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CHACO AUSTRAL "UNCAUS"

Equipamiento requerido calibrado y certificado correspondiente para las tomas de muestras

- Analizador de gas BW TECNOLOGI, modelo GAS ALERT EXTREME.
- Analizador de gas de combustión PHOTOVAC, modelo 2020 COMBO.
- Detector de gas MADUR, modelo GA 21 PLUS.
- Bomba de caudal contante SKC, modelo 224 PCXR8
- Balanza electrónica clase 1 RADWAG, modelo AS 60/220.R2/444461

### Índice de la Calidad del Aire (ICA)

El ICA es la interpretación de los niveles de las concentraciones registradas en la Ciudad de Resistencia Chaco, teniendo en cuenta los tiempos de exposición, es un valor adimensional, que lleva una escala numérica entre 0 y 500, con rangos intermedios y representados por diferentes colores, las concentraciones registradas por el monitoreo periódico realizado, la principal función del ICA es mantener informada a la población sobre la calidad del aire en escalas que sean comprensibles.

El ICA en la Secretaria de Ambiente del Municipio de Resistencia ha sido adoptado de la EPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, con modificaciones según los parámetros establecidos a nivel nacional del cual la provincia del Chaco está sujeta, por lo que a continuación se establece los parámetros de siguientes contaminantes:

- **Monóxido de carbono**

El monóxido de carbono es una sustancia tóxica que ingresa al cuerpo a través de la respiración. Puede provocar dolor de cabeza, náuseas, vómitos, desmayos e, incluso, la muerte. Es altamente peligroso porque no es detectable a través de los sentidos. Carece de olor, sabor y color. Tampoco irrita los ojos ni la nariz. Por eso, es indispensable mantener bien ventilados los ambientes y la correcta instalación de los artefactos por un gasista matriculado.

- **Dióxido de carbono**

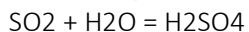
La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra - efecto invernadero-[2] La amplitud con que este efecto puede cambiar el clima mundial depende de los datos empleados en un modelo teórico, de manera que hay modelos que predicen cambios rápidos y desastrosos del clima y otros que señalan efectos climáticos limitados. La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera permitiría que el ciclo total del carbono alcanzara el equilibrio a través de los grandes sumideros de carbono como son el océano profundo y los sedimentos.

- **Óxidos de nitrógeno**

También llamado óxido de nitrógeno (II) es un gas incoloro y poco soluble en agua que se produce por la quema de combustibles fósiles en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>, y posteriormente en ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, produciendo así lluvia ácida.

- **Dióxido de azufre**

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre. El SO<sub>2</sub> resultante de la combustión del azufre se oxida y forma ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas.



La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales. El SO<sub>2</sub> también ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en el agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios o esculturas.

- **Partículas en suspensión PM10**

Se denomina material particulado a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire.

- **Ozono**

El ozono O<sub>3</sub> es un constituyente natural de la atmósfera, pero cuando su concentración es superior a la normal se considera como un gas contaminante. Su concentración a nivel del mar, puede oscilar

alrededor de 0,01 mg kg<sup>-1</sup>. Cuando la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles es elevada y la radiación solar es intensa, el nivel de ozono aumenta y puede llegar hasta 0,1 kg<sup>-1</sup>. Las plantas pueden ser afectadas en su desarrollo por concentraciones pequeñas de ozono. El hombre también resulta afectado por el ozono a concentraciones entre 0,05 y 0,1 mg kg<sup>-1</sup>, causándole irritación de las fosas nasales y garganta, así como sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores.

En la atmósfera, estos residuos pueden desplazarse junto con las masas de aire, transformarse por medio de reacciones químicas, disolverse en el medio acuoso de las nubes, precipitar y retornar otra vez a la superficie de la tierra. La atmósfera es un sistema muy complejo en el que se producen fenómenos climáticos y químicos que hacen incierto el comportamiento de los residuos emitidos, y debido a la gran movilidad de los mismos, sus efectos pueden afectar extensas zonas tanto a nivel local como regional, y en algunos casos extenderse a regiones muy lejanas. En los automóviles que funcionan con la relación aire/combustible óptima la proporción de hidrocarburos sin quemar en los gases de escape es mínima, pero, a causa de las altas temperaturas generadas (alrededor de 1700 °C) la producción de NO mediante la reacción endotérmica  $N_2 + O_2 \rightarrow 2 NO$  es máxima. Si junto al NO se encuentran presentes en la atmósfera SO<sub>2</sub>, hidrocarburos, O<sub>3</sub> y luz solar, la conversión de NO a NO<sub>2</sub> es extremadamente rápida; para concentraciones de 120 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> y 220 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> se requieren aproximadamente veinte segundos para la oxidación total (Wark y Warner, 1990). Los óxidos de nitrógeno actúan en la troposfera en reacciones fotolíticas mediante dos vías: iniciando las cadenas de reacción como precursores en la formación de ozono y por otro lado terminando dichas cadenas con formación de ácido nítrico y nitratos orgánicos (Seinfeld, 1986). El NO<sub>2</sub> es un irritante de las vías respiratorias, y en respuesta a posibles efectos sobre la salud y el ambiente, en 1987 la Organización Mundial de la Salud estableció normas para la exposición humana, recomendando que el promedio en una hora no exceda 210 µg/m<sup>3</sup> y el promedio de 24 horas no supere los 80 µg/m<sup>3</sup>. En Argentina, la reglamentación de la Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos (1993) establece como máxima concentración horaria promedio 900 µg/m<sup>3</sup>. La tendencia actual, avalada por la Comunidad Económica Europea, el Reino Unido y la Organización Mundial de la Salud, es establecer como máximo una concentración horaria media de 200 µg/m<sup>3</sup>, y una media anual de 40 µg/m<sup>3</sup> (Chappell 1997). El escape de los automóviles expone una mezcla compleja de gases: NO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (etileno), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (propileno), buteno, penteno, benceno, alquilbenceno, etc. La evolución típica de una mezcla representativa sometida a irradiación que imita la luz solar (Penzhorn H. R-D. (1972) Fotoquímica de Gases) indica el origen secundario del O<sub>3</sub> y del NO<sub>2</sub>, la relación entre sus concentraciones, así como el carácter transitorio de este último, si su generación no es continua.

A partir de las concentraciones medida por el monitoreo, es posible calcular un valor del índice diario para cada contaminante. El valor del ICA más alto, será el que se reporta para ese día y bajo sus condiciones climáticas. (RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SIGUIENTE CUADRO).

**Tabla 1.1 TABLA DE MUESTRAS - ICA**

| <b>IDENTIFICACION DE LA MUESTRAS DE CALIDAD DE AIRE</b>                         |                      |                   |                     |                     |                                |                     |                     |                      |             |             |          |   |  |
|---|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------|----------|---|--|
| <b>TIPO DE MUESTRA: SOLIDA (FILTRO PM10), LIQUIDA (NOx) Y ANALISIS IN-SITU.</b> |                      |                   |                     |                     |                                |                     |                     |                      |             |             |          |   |  |
|   | PUNTO 1              | PUNTO 2           | PUNTO 3             | PUNTO 4             | PUNTO 5                        | PUNTO 6             | PUNTO 7             | PUNTO 8              | PUNTO 9     | PUNTO 10    | UNIDADES | <b>NORMA CALIDAD DE AIRE*</b>             |  |
| <b>FECHA DE MUESTREO</b>  | 19/08/2016           | 10/08/2016        | 11/08/2016          | 12/08/2016          | 13/08/2016                     | 17/08/2016          | 18/08/2016          | 19/08/2016           | 20/08/2016  | 21/08/2016  |          |   |  |
| <b>VIENTO/VELOCIDAD EN SUP.</b>   | SUROESTE/<br>0,6-1,1 | NORTE/<br>4,2-1,1 | NORESTE/<br>0,8-1,7 | NORESTE/<br>0,2-0,4 | NORTE-<br>SUROESTE/<br>0,8-3,2 | NORESTE/<br>3,6-4,2 | NORESTE/<br>3,6-4,2 | SUROESTE/<br>0,8-3,2 | SUR/0,1-1,5 | SUR/0,8-3,2 | m/seg    |   |  |
| <b>TEMPERATURA</b>  | 19,5                 | 19,5              | 20,5                | 25,7                | 21,7                           | 23,7                | 21,2                | 24,6                 | 25,5        | 17,8        | °C       |   |  |
| <b>HR%</b>  | 55%                  | 56%               | 56%                 | 56%                 | 36%                            | 41%                 | 48%                 | 52%                  | 52%         | 66%         | Nº%      |   |  |
| <b>ANALISIS CO</b>  | 1                    | 1                 | 1                   | 1                   | 1                              | 1                   | 1                   | 1                    | 1           | 1           | ppm      | 10 ppm-8hs.                               |  |
| <b>ANALISIS NOx</b>   | 0,002                | 0,002             | 0,002               | 0,002               | 0,002                          | 0,002               | 0,002               | 0,002                | 0,1         | 1           | ppm      | 0,45 ppm-1h.                              |  |
| <b>ANALISIS SO2</b>   | 0,05                 | 0,05              | 0,05                | 0,05                | 0,05                           | 0,05                | 0,05                | 0,05                 | 0,1         | 0,1         | ppm      | 0,03 ppm (70 µg/m³)<br>(promedio mensual) |  |
| <b>MATERIAL PARTICULADO</b>   | 99,1505              | 106,3325          | 120,6017            | 114,8874            | 17,1417                        | 13,8963             | 13,8963             | 12,0309              | 12,0309     | 48,0554     | µg/Nm³   | 150 µg/m³<br>(promedio mensual)           |  |
| <b>ANALISIS OZONO (O3)</b>  | 0,1                  | 0,1               | 0                   | 0                   | 0                              | 0                   | 0                   | 0                    | 0,03        | 0,07        | ppm      | 0,1 ppm-1h.                               |  |

**Tabla 1.3 CUADRO PUNTOS DE MUESTREO**

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>PUNTO 1</b>  | PLAZA 25 DE MAYO                         |
| <b>PUNTO 2</b>  | PLAZA BELGRANO                           |
| <b>PUNTO 3</b>  | PLAZA 12 DE OCTUBRE                      |
| <b>PUNTO 4</b>  | PLAZA 9 DE JULIO                         |
| <b>PUNTO 5</b>  | CENTRO COMUNITARIO VILLA RIO NEGRO       |
| <b>PUNTO 6</b>  | CENTRO COMUNITARIO VILLA PROSPERIDAD     |
| <b>PUNTO 7</b>  | CENTRO COMUNITARIO Bº 244                |
| <b>PUNTO 8</b>  | CENTRO COMUNITARIO VILLA ENCARNACIÓN     |
| <b>PUNTO 9</b>  | PLAZA ESPAÑA                             |
| <b>PUNTO 10</b> | COMISARIA SECCIONAL 6º- Bº DE SANTA INÉS |

## MÉTODO DE ANÁLISIS ICA

El cálculo del ICA, se realiza según el modelo desarrollado por la EPA, el cual consta de un algoritmo de cálculo para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, este algoritmo involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos (rango). La ecuación será calculada para cada contaminante criterio, reportando el mayor valor del

índice que se obtenga. Para establecer un parámetro ICA por cada punto o toma de muestra, se resulta por la sumatoria y promedio de los parámetros obtenidos. A su vez también se puede obtener un promedio general ICA promediando los valores obtenidos en los distintos puntos de muestreo.

IMAGEN 1

$$ICA = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} * (C_i - BP_{LO}) + I_{LO}$$

ICA = Índice de calidad del aire

$I_{LO}$  = Valor del índice en el límite inferior de la categoría del ICA

$I_{HI}$  = Valor del índice en el límite superior de la categoría del ICA

$BP_{LO}$  = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría del ICA

$BP_{HI}$  = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría del ICA

$C_i$  = Concentración del contaminante

Tabla 1.2 TABLA PUNTOS DE CORTE - ICA

| PUNTOS DE CORTE - ICA |          |   |                |                         |                 |                   |                     |
|-----------------------|----------|---|----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| ICA                   | COLOR    | CLASIFICACIÓN                                 | 3-1 H.<br>PPM  | PM 10<br>24HS.<br>µG/m3 | CO-8 HS.<br>PPM | SO2-24 HS.<br>PPM | NOx-<br>1HS.<br>PPM |
| 0<br>50               | VERDE    | BUENA   | 0<br>0,124     | 0<br>54                 | 0<br>4,4        | 0<br>0,035        | 0<br>0,053          |
| 51<br>100             | AMARILLO | MODERADA                                      | 0,125<br>0,164 | 55<br>154               | 4,5<br>9,4      | 0,036<br>0,075    | 0,054<br>0,1        |
| 101<br>150            | NARANJA  | DAÑINA A LA SALUD<br>PARA GRUPOS<br>SENSIBLES | 0,165<br>0,204 | 155<br>254              | 9,5<br>12,4     | 0,076<br>0,185    | 0,101<br>0,36       |
| 151<br>200            | ROJO     | DAÑINA A LA SALUD                             | 0,205<br>0,304 | 255<br>354              | 12,5<br>15,4    | 0,186<br>0,304    | 0,361<br>0,649      |
| 201<br>300            | FUCSIA   | MUY DAÑINA A LA<br>SALUD                      | 0,304<br>0,404 | 355<br>424              | 15,5<br>30,4    | 0,305<br>0,604    | 0,65<br>1,249       |
| 301<br>400            | MAGENTA  | PELIGROSA                                     | 0,405<br>0,504 | 425<br>504              | 30,5<br>40,4    | 0,605<br>0,804    | 1,25<br>1,649       |
| 401<br>500            | VIOLETA  | MUY PELIGROSA                                 | 0,505<br>0,604 | 505<br>604              | 40,5<br>50,4    | 0,805<br>1,004    | 1,65<br>2,049       |

Ejemplo:

Las concentraciones registradas por la red de monitoreo deberán ser llevadas al Indicador de Calidad del Aire (ICA), el cual representa en una escala los niveles de contaminación y relaciona los riesgos a la salud a los que puede estar expuesta la población, información que se deberá suministrar a la población.

Con el siguiente ejemplo se ilustra la metodología de cálculo del Índice de Calidad del Aire: En la plaza

central 25 de Mayo (punto 1 de toma de muestras), la concentración de PM10 medida el 19 de octubre de 2016 fue 99,1505  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , aplicando la ecuación se tiene:

- $ICA = ?$
- $I_{Lo} = 51$  (Tomado de la Tabla 1.1, puntos de corte del ICA)
- $I_{Hi} = 100$  (Tomado de la Tabla 1.1, puntos de corte del ICA)
- $BP_{Lo} = 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tomado de la Tabla 1.1, puntos de corte del ICA)
- $BP_{Hi} = 154 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tomado de la Tabla 1.1, puntos de corte del ICA)
- $C_i = 99,1505 \mu\text{g}/\text{m}^3$

El ICA para PM10 registrado en el PUNTO 1 el 19 de octubre de 2016 fue 100, indicando una calidad del aire “Moderado”, según la lectura en la Tabla de Puntos de corte ICA. Si la estación también mide otros contaminantes, el contaminante que define la calidad del aire, conocido como máximo operador, es el que tiene el mayor ICA generado.

Las concentraciones registradas por la red de monitoreo deberán ser llevadas al Indicador de Calidad del Aire (ICA), el cual representa en una escala los niveles de contaminación y relaciona los riesgos a la salud a los que puede estar expuesta la población, información que se deberá suministrar a la población.

## RESULTADOS ICA OBTENIDOS

Tabla 1.4 CUADRO PUNTOS DE MUESTREO - ICA

| PUNTO 1              | ICA    | PUNTO 2              | ICA    |
|----------------------|--------|----------------------|--------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36  | ANÁLISIS CO          | 11,36  |
| ANÁLISIS NOX         | 1,88   | ANÁLISIS NOX         | 1,88   |
| ANÁLISIS SO2         | 68,948 | ANÁLISIS SO2         | 68,948 |
| MATERIAL PARTICULADO | 72,852 | MATERIAL PARTICULADO | 76,406 |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 40,32  | ANÁLISIS OZONO (O3)  | 40,32  |

| PUNTO 3              | ICA    | PUNTO 4              | ICA    |
|----------------------|--------|----------------------|--------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36  | ANÁLISIS CO          | 11,36  |
| ANÁLISIS NOX         | 1,88   | ANÁLISIS NOX         | 1,88   |
| ANÁLISIS SO2         | 68,948 | ANÁLISIS SO2         | 68,948 |
| MATERIAL PARTICULADO | 83,469 | MATERIAL PARTICULADO | 80,641 |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      | ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      |

| PUNTO 5              | ICA    | PUNTO 6              | ICA    |
|----------------------|--------|----------------------|--------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36  | ANÁLISIS CO          | 11,36  |
| ANÁLISIS NOX         | 1,88   | ANÁLISIS NOX         | 1,88   |
| ANÁLISIS SO6         | 68,948 | ANÁLISIS SO2         | 68,948 |
| MATERIAL PARTICULADO | 15,871 | MATERIAL PARTICULADO | 12,86  |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      | ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      |

| PUNTO 7              | ICA    |
|----------------------|--------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36  |
| ANÁLISIS NOX         | 2,85   |
| ANÁLISIS SO2         | 68,948 |
| MATERIAL PARTICULADO | 12,86  |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      |

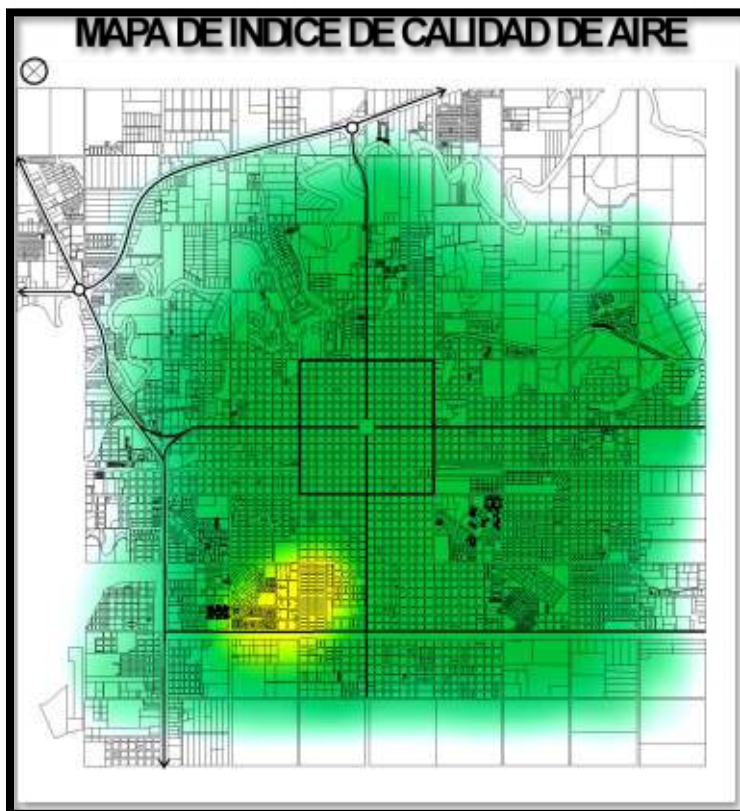
| PUNTO 8              | ICA    |
|----------------------|--------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36  |
| ANÁLISIS NOX         | 2,85   |
| ANÁLISIS SO2         | 68,948 |
| MATERIAL PARTICULADO | 11,139 |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 0      |

| PUNTO 9              | ICA     |
|----------------------|---------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36   |
| ANÁLISIS NOX         | 100     |
| ANÁLISIS SO2         | 111,690 |
| MATERIAL PARTICULADO | 11,139  |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 12,096  |

| PUNTO 10             | ICA     |
|----------------------|---------|
| ANÁLISIS CO          | 11,36   |
| ANÁLISIS NOX         | 258,846 |
| ANÁLISIS SO2         | 111,690 |
| MATERIAL PARTICULADO | 44,495  |
| ANÁLISIS OZONO (O3)  | 28,225  |

Tabla 1.5 ICA – VALORES POR MUESTRAS

| TABLA GENERAL ICA       |                |
|-------------------------|----------------|
| PUNTO 1                 | 39,072         |
| PUNTO 2                 | 39,782         |
| PUNTO 3                 | 33,131         |
| PUNTO 4                 | 32,565         |
| PUNTO 5                 | 19,611         |
| PUNTO 6                 | 19,009         |
| PUNTO 7                 | 19,203         |
| PUNTO 8                 | 18,859         |
| PUNTO 9                 | 49,257         |
| PUNTO 10                | 90,932         |
| <b>PROMEDIO GENERAL</b> | <b>36,1421</b> |



## CONCLUSIONES

Dentro del análisis de la información, se concluyó que las zonas sur registraban altas concentraciones de material particulado, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, contaminantes que está en mira de preocupación en el ámbito internacional por su impacto en la salud.

### POTENCIAL FUENTE DE EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>)

#### “TERMINAL DE ÓMNIBUS DE RESISTENCIA”

Las principales fuentes antropogénicas de emisión se producen en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles. Otros focos de menor relevancia, se llevan a cabo en los procesos biológicos de los suelos, en los que se produce la emisión de nitritos (NO<sub>2</sub>) por parte de los microorganismos.

Se ha hecho referencia a las propiedades, efectos sobre la salud y el medio ambiente del dióxido de nitrógeno, ya que es el contaminante principal de los NO<sub>x</sub>. Por el contrario no se incidirá en las fuentes de emisión del dióxido de nitrógeno, sino que se hará una referencia global de los óxidos de nitrógeno.

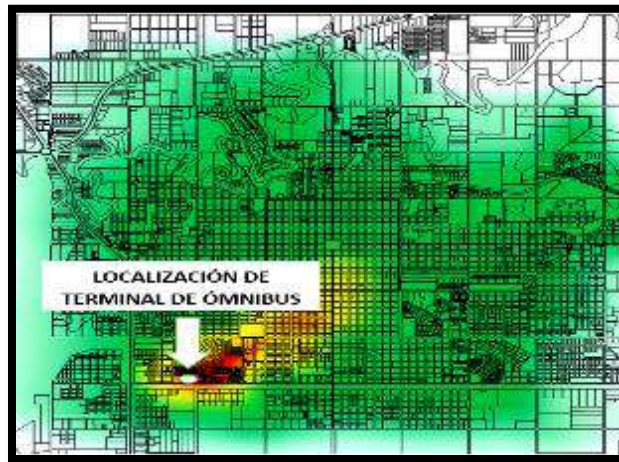
El dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno, y se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. Se trata de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM<sub>2.5</sub> en el



ambiente. Presenta buena solubilidad en agua, reaccionando y formando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) según la siguiente reacción:  $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO}$ . Esta sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, pudiendo atacar materiales metálicos en presencia de agua.

### Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves. La inhalación en elevadas concentraciones y durante un corto periodo de tiempo, puede originar un edema pulmonar cuyos efectos no se observan hasta pasadas unas horas, agravándose con el esfuerzo físico. Una exposición prolongada puede afectar al sistema inmune y al pulmón, dando lugar a una menor resistencia frente a infecciones y causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar. Con respecto a los impactos producidos en el medio ambiente, se trata de una sustancia que tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, ya que al combinarse con otros contaminantes atmosféricos (por ejemplo los COVDM) influye en las reacciones de formación de ozono en la superficie de la tierra. Por otra parte el  $\text{NO}_2$  se forma a partir de la oxidación del óxido nítrico (NO), y tiene una vida corta en la atmósfera ya que se oxida rápidamente a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) o a  $\text{HNO}_3$  (ácido nítrico). En este último caso, se produce el fenómeno de la lluvia ácida que consiste en la reacción de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) con la humedad existente en el ambiente, dando lugar a ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que precipita causando grandes destrozos en los bosques y la acidificación de las aguas superficiales.



### POTENCIAL FUENTE DE EMISIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE ( $\text{SO}_2$ )

#### "LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE EFLUENTES CLOACALES DEL GRAN RESISTENCIA"

Uno de los problemas más importantes o tal vez el más importante relacionado con el rechazo de la población a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales es la generación de olores. Es por ello que el conocimiento de las fuentes de olores y de las tecnologías existentes para su control adquiere suma importancia para proponer soluciones y facilitar la instalación de estos sistemas de tratamiento básico. En el trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre el tratamiento de gases asociado con malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales a través de procesos biotecnológicos.

La fuente de malos olores en plantas de tratamiento está asociada con la generación y tratamiento de residuos sólidos como el lodo biológico o químico así como con el manejo del agua residual misma y con la degradación de la materia orgánica dentro de la planta de tratamiento. El manejo y control de olores en las plantas de tratamiento de aguas residuales ha adquirido gran importancia debido al crecimiento de la población, a la multiplicación de las plantas de tratamiento en el ámbito municipal y a su cercanía con otros centros de población.

Una de los compuestos que contribuye en gran medida a la generación de malos olores es el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) que es un producto natural de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, muy frecuentemente encontrado en drenajes y en plantas de tratamiento de aguas residuales y de lodos de desecho. Para el tratamiento de malos olores existen tecnologías de tipo fisicoquímico y biotecnológico. Sin embargo, es claro que si se sigue y favorece una política nacional para proteger el medio ambiente basada en principios de sustentabilidad, se verán favorecidos los procesos biotecnológicos sobre los fisicoquímicos debido a su bajo costo de operación, al bajo requerimiento de insumos (energía y reactivos), a la baja producción de desechos y a su alta eficacia de tratamiento. Debido al metabolismo de ciertas bacterias anaerobias (sulfatoredutoras), el medio anaerobio es el más propenso a presentar malos olores, sobre todo cuando en el agua residual existen altas concentraciones de sulfatos y sulfuros.



Considerando estos recientes registros de calidad del aire, para un Plan de Descontaminación cuyo objetivo es la protección de la salud de la población, el control del  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  y  $NO_x$  debería transformarse en el objetivo prioritario. En este sentido, los esfuerzos de corto plazo deberán concentrarse en caracterizar este contaminante y en discriminar el aporte de los diferentes sectores económicos a su formación, para posteriormente definir las medidas de control más costo efectivo para su control.