

## **Comparación de la Contaminación Urbana por Óxidos de Nitrógeno en las Ciudades de Mendoza, Rosario y Santa Fe**

Ing. Daniel Andrés. UTN. FRRO.: dandres@funescoop.com.ar

Ing. Eduardo Ferrero. UTN. FRRO.: ejoferrero@hotmail.com

Ing. Leonardo Ferrari. UTN. FRRO.: leonardocarlos.ferrari@gmail.com

Ing. Jorge Fernández. UTN. FRM.: fernandez.irese@frm.utn.edu.ar

Daniel Andrés. Pujato 1602 - 2000 – Rosario, Argentina. Tel/Fax: 0054 – 0341 – 4934805

**Resumen** - En este trabajo se muestran los datos de los diferentes niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno) hallados en tres ciudades de la República Argentina, Mendoza, Rosario y Santa Fe. Éstas tienen características edilicias y de clima diferentes, por eso resulta de interés el estudio simultáneo de la polución ambiental en ellas, para comparar la manera en que esas particularidades influyen en las concentraciones del contaminante. Del análisis de los registros obtenidos, surge que los niveles de contaminación no son uniformes.

El NO<sub>2</sub> fue muestreado mediante tubos Palmes, un sistema de monitoreo pasivo, basado en la difusión molecular del contaminante en el aire en el interior de un tubo de acrílico y la posterior absorción sobre un sustrato específico.

En la ciudad de Mendoza se registraron los valores más altos, seguidos por los de Rosario y en un nivel más bajo los de Santa Fe. Estas diferencias se esperaban, debido a que las condiciones climáticas y edilicias de la ciudad de Mendoza dificultarían la remoción de los contaminantes emitidos por el transporte automotor. En Rosario se esperaban valores menores al de Mendoza pero mayores a los de Santa Fe debido a que Rosario y Santa Fe tienen similar clima pero diferentes densidades de tránsito y altura edilicia.

**Palabras clave:** contaminación de aire, dióxido de nitrógeno, muestreadores pasivos

### **Comparison of the Urban Contamination by Oxides of Nitrogen in the Cities of Mendoza, Rosario and Santa Fe**

**Abstract** - This work shows the data of different pollution levels by NO<sub>2</sub> (nitrogen dioxide) found in the cities of Mendoza, Rosario and Santa Fe. Those cities have different characteristics, and about this are interesting to compare the simultaneous study environmental pollution in them. An analysis of the records obtained, it appears that pollution levels are not uniform.

The NO<sub>2</sub> was sampled with Palmes tubes, passive monitoring system based on molecular diffusion of the pollutant in the air on a specific substrate, into an acrylic tube.

In the city of Mendoza, were the highest values, followed by Rosario and at a level below Santa Fe. These differences were expected since the beginning of the measurements, due to climatic conditions and building construction in Mendoza City impede the removal of pollutants emitted by vehicles. In Rosario lower values were expected to Mendoza but higher than in Santa Fe because these two cities have similar weather conditions but different densities of traffic and building highs.

**Key words:** air pollution, nitrogen dioxides, passives samplers

## **INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de las mediciones obtenidas hasta la fecha de la elaboración de esta publicación e informar acerca de algunas características que presentan dichas mediciones según el lugar y según la estación del año en que se registre.

Desde Enero de 2008 se está desarrollando un Proyecto Integrado de Investigación en tres facultades

regionales de la Universidad Tecnológica Nacional, con base y dirección en Rosario. El mismo tiene por objetivo investigar el grado de contaminación por dióxido de nitrógeno en las áreas urbanas céntricas de las ciudades de Mendoza, Rosario y Santa Fe. Los datos obtenidos entre Setiembre de 2008 y Agosto de 2009, son los que se muestran en el presente informe.

Estas ciudades tienen características edilicias y de clima que las diferencian y es por eso que resulta de particular interés el estudio simultáneo de la contaminación ambiental en cada una de ellas, para comparar la manera en que esas particularidades influyen en las concentraciones del contaminante mencionado.

### **Los Óxidos de Nitrógeno**

Aproximadamente el 90% de la contaminación urbana de una ciudad no industrial proviene de los gases de combustión de los automotores. Los Óxidos de Nitrógeno están siempre presentes en cualquier tipo de combustión, independientemente del combustible utilizado, por lo tanto pueden ser tomados como indicativos del grado de contaminación atmosférica urbana (Andrés et al., 1997).

Más del noventa por ciento de los óxidos de nitrógeno que se producen de esta manera, lo hacen bajo la forma de NO, que al tomar contacto con el aire se oxida a NO<sub>2</sub>, dependiendo la Velocidad de oxidación de la temperatura y de la concentración de NO presente en el aire (Wark and Warner, 2000). Influyen además en la velocidad de oxidación del NO, la presencia de HC y la cantidad e intensidad de la luz solar.

El NO<sub>2</sub> es un gas irritante, de color pardo rojizo, no es inflamable pero si tóxico y se caracteriza por un olor asfixiante. Los estudios de mortalidad animal muestran que el NO<sub>2</sub> es cuatro veces más tóxico que el NO (Stocker and Seager, 1981). A las concentraciones que habitualmente se encuentra en la atmósfera, el NO es no irritante y no se lo considera un peligro para la salud, su mayor peligrosidad radica en su capacidad para oxidarse a NO<sub>2</sub> (Stocker and Seager, 1981).

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS**

### **Ciudad de Mendoza**

En el oeste de Argentina, capital de la provincia del mismo nombre. La población del Gran Mendoza supera los 800.000 habitantes, posee un amplio desarrollo comercial, industrial y cultural.

Calles amplias y arboladas, acequias (con más de 500 km de extensión), importantes espacios verdes.

Desde el punto de vista medioambiental, el arbolado de las calles, puede llegar a influir negativamente en la rápida remoción de los contaminantes que los vehículos automotores emiten a nivel de suelo.

El clima de Mendoza es semiárido. Presenta temperaturas muy elevadas en el verano y muy bajas en el invierno. Las precipitaciones apenas superan los 250 mm anuales. El rumbo norte-sur de los cordones cordilleranos no impide el avance del aire polar o del tropical. Por la cadena montañosa de los Andes, se dan algunas condiciones apropiadas para el desarrollo del viento Zonda. Para esta región y en el período en estudio, el promedio de vientos llegó a 4,21 km/h.

### **Ciudad de Rosario**

La ciudad de Rosario alberga alrededor de un millón de habitantes. El área metropolitana de la cual es núcleo, llega hoy a más de 1.250.000 habitantes.

Se encuentra recostada sobre el Río Paraná, importante vía de navegación. La zona costera se caracteriza por sus barrancas cuya altura superan en algunas partes, los 20 m por encima del nivel medio del río.

Su clima es el clásico de las zonas de llanura ondulada con clima templado, con una temperatura promedio anual de 23,4 °C (máxima) y de 11,6 °C (mínima). El volumen de precipitaciones es de 1038 milímetros al año. Los vientos promedios en el período en estudio, alcanzaron los 10,44 km/h.

### **Ciudad de Santa Fe**

La ciudad de Santa Fe es la capital de la provincia homónima, y se encuentra en el sector centro-este de Argentina. Posee una población del orden de los 400.000 habitantes.

La ciudad se ubica en una extensa llanura que debido a su planicie, se caracteriza por el difícil escurrimiento de las aguas, con la correspondiente formación de lagunas, arroyos y bañados. Caudalosos ríos (como el Paraná, Salado o el Coronda, afluentes y lagunas, como la Laguna Setúbal), sumados a una exuberante vegetación isleña, confieren a esta ciudad un entorno natural de gran extensión.

La ciudad de Santa Fe recibe una marcada influencia del río Paraná en las condiciones climáticas, atenuando sus características de mediterraneidad.

En verano a la zona llegan masas de aire tropical cálida y húmeda con vientos del norte que traen altas temperaturas, mientras que en invierno masas de aire polar producen enfriamientos y heladas.

La temperatura media en invierno es de 12 °C, con una humedad relativa de 65%; en verano es de 26 °C y 55% de humedad relativa media. El promedio de los vientos en esta zona fueron de 9,81 km/h.

### METODOLOGÍA DE MONITOREO

Los lugares seleccionados en cada una de las ciudades responden a la idea de monitorear en las zonas de mayor tránsito de peatones y vehículos. Se priorizó en la elección de cada punto de medición, que pertenezca a la zona del microcentro de cada ciudad, donde la mayor densidad del tránsito vehicular es coincidente con mayor número de personas circulando.

En la Ciudad de Mendoza se monitorea NO<sub>2</sub> en 10 de los sitios seleccionados, mediante equipos pasivos de monitoreo, determinando concentraciones promedio mensuales.

Los puntos de muestreo se ubicaron en los siguientes lugares de la mencionada ciudad (ver Fig. 1):

1. Rioja y Catamarca
2. Salta y Alem
3. J. V. Zapata y San Juan
4. J. V. Zapata y Salta
5. Morón y Rioja
6. San Juan y Rondeau
7. España y Las Heras
8. Gutiérrez y P. Mendocinas
9. Plaza Independencia
10. España y Rivadavia

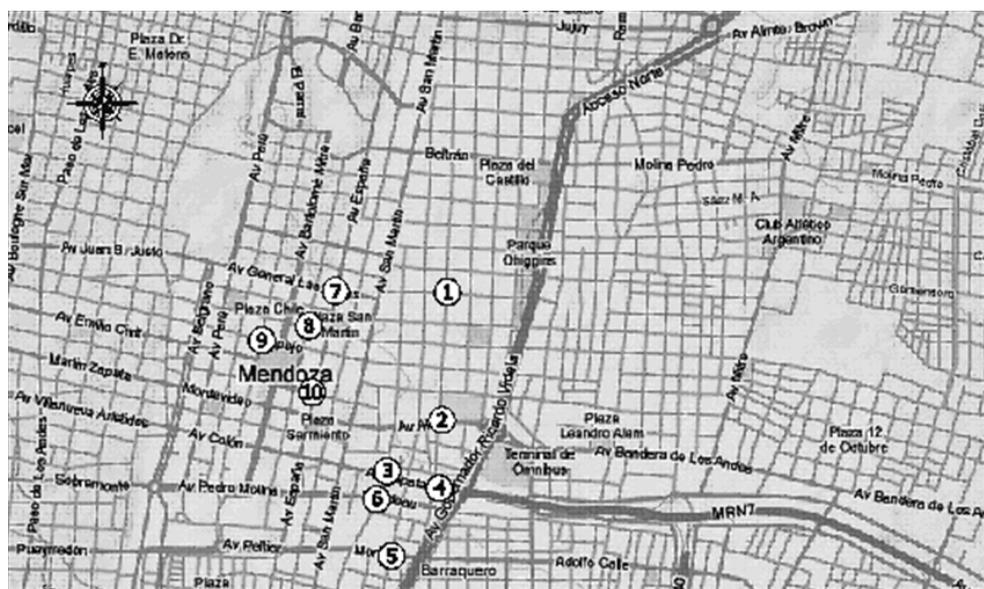


Fig. 1 – Ubicación de los puntos de muestreo en la ciudad de Mendoza

En la Ciudad de Rosario, a su vez, se monitorea  $\text{NO}_2$  del mismo modo en 13 sitios del centro de la Ciudad.

Los puntos de muestreo en este caso, se ubicaron en los siguientes puntos (ver Fig. 2):

1. Entre Ríos y Rioja
2. Mendoza y Moreno
3. Paraguay y Rioja
4. Sarmiento y San Lorenzo
5. Barón de Maua y San Luis
6. Entre Ríos y Urquiza
7. Santa Fe y Corrientes
8. Córdoba y San Martín
9. Salta y Moreno
10. Zeballos y Entre Ríos
11. Plaza Sarmiento
12. 9 de Julio y Bs.As.
13. Maipú y Rioja



Fig. 2 – Ubicación de los puntos de muestreo en la ciudad de Rosario

De igual manera, en la ciudad de Santa Fe, se ubicaron 8 monitores en (ver Fig. 3):

1. Suipacha y Rivadavia
2. Irigoyen y Freyre
3. Gral. López y San Gerónimo
4. Godoy - Fae
5. Mendoza y 9 de Julio
6. J. Garay y 27 de Febrero
7. Corrientes y Urquiza
8. Rivadavia y Rioja



Fig. 3 – Ubicación de los puntos de muestreo en la ciudad de Santa Fe

### Metodología de análisis de muestras

Para la determinación de  $\text{NO}_2$  en aire se utilizaron equipos pasivos de monitoreo. Estos sistemas se basan en la difusión molecular a través de un medio laminar que se produce entre un extremo del muestreador (expuesto al aire) y el otro extremo cerrado con un reactivo específico que retiene al contaminante que se investiga.

El muestreador pasivo de difusión para  $\text{NO}_2$  o tubo Palmes, consta de un pequeño tubo de acrílico con un extremo cerrado, en donde van colocadas dos mallas de acero inoxidable conteniendo entre ambas una pequeña cantidad de solución de Trietanolamina. Luego de la exposición durante un período de aproximadamente 1 mes, los tubos son analizados en laboratorio, mediante la adición de Sulfanilamida y NEDA (N-1 naftil etilendiamina diclorhidrato), desarrollando un color rosa púrpura, cuya absorbancia a 540 nm es proporcional a la masa de  $\text{NO}_2$  absorbido.

El Límite inferior de detección del método es de 200 ppb para exposiciones horarias (Gair et al., 1991), lo que significa un mínimo de aproximadamente  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la exposición mensual. La toma de muestras en período mensual en ambientes exteriores ha probado ser representativa para monitoreo de base en ambientes exteriores (UNEP-WHO, 1994), no habiéndose encontrado estudios sobre su aplicación en interiores.

La metodología ha sido comparada con otras técnicas más conocidas como las automáticas de quimioluminiscencia y las activas químicas, no observándose desviaciones importantes (Gair et al, 1991;).

La interferencia de otros gases atmosféricos ha sido estudiada por Gair (Gair et al., 1991), encontrando que sólo podrían interferir con la técnica del tubo de difusión el ácido nitroso y los nitratos de peroxiacilo, que solo tendrían una incidencia significativa en zonas donde las concentraciones de  $\text{NO}_2$  son muy elevadas, no siendo este el caso del presente estudio.

Los efectos de la temperatura y la presión sobre la técnica han sido discutidos por Palmes (Palmes

et al., 1976).

No se han encontrado efectos de la presión y solamente un pequeño efecto de la temperatura que es despreciable cuando ésta no supera los 40 °C.

La humedad y la radiación tienen efecto sobre la absorción del contaminante (Yanagisawa and Nishimura, 1982), pero éste no ha sido estudiado en profundidad hasta el presente. Sin embargo, las mínimas desviaciones observadas respecto a las metodologías más conocidas, permiten suponer que tal efecto no causa variaciones importantes sobre las mediciones realizadas con esta técnica.

Con respecto a los efectos del viento, las técnicas para el Tubo Palmes indican que es necesaria una mínima turbulencia en la zona del extremo abierto del tubo. Las bajas velocidades de viento han sido estudiadas por Tompkins (Tompkins et al., 1977) indicando que un estado totalmente estático del aire monitoreado aumenta el paso laminar de difusión molecular, lo que es conocido como “starvation effect” o “efecto de hambre”. Este efecto del aire estático resulta en una subestimación de las concentraciones medidas. La reducción en la masa de la sustancia colectada por el muestreador, a velocidad de aire nula (0 m/s,) puede ser de hasta el 30 % (Lewis et al., 1985).

**Validez de las Muestras**

Con el objeto de obtener valores representativos para el análisis de los datos, se adoptó el criterio de D. Shooter (Shooter et al., 1991). Se colocaron tres tubos muestreadores por cada sitio de medición. Cuando las tres determinaciones se encontraban dentro de un rango del 20 % por encima y por debajo del valor medio de las mismas, este último valor se tomaba como válido. Si algún valor no se encontraba en dicho rango, era descartado. Si los dos valores restantes no entraban en el rango del 20% respecto al valor medio de los mismos, la medición se invalidaba.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En las Tablas 1, 2 y 3 se indican los promedios mensuales de todos los sitios para las ciudades de Mendoza, Rosario y Santa Fe y también el promedio general para cada una de estas ciudades.

Mes	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Septiembre de 2008	50
Octubre de 2008	54
Noviembre de 2008	61
Diciembre de 2008	57
Enero de 2009	43
Febrero de 2009	49
Marzo de 2009	49
Abril de 2009	56
Mayo de 2009	44
Junio de 2009	46
Julio de 2009	43
Agosto de 2009	45
Promedio General	50

*Tabla 1: Concentraciones de NO<sub>2</sub> en la ciudad de Mendoza, promedio mensual de todos los sitios*

Mes	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Septiembre de 2008	46
Octubre de 2008	45
Noviembre de 2008	52
Diciembre de 2008	48
Enero de 2009	42
Febrero de 2009	39
Marzo de 2009	42
Abril de 2009	47
Mayo de 2009	53
Junio de 2009	37
Julio de 2009	50
Agosto de 2009	51
Promedio General	46

*Tabla 2: Concentraciones de NO<sub>2</sub> en la ciudad de Rosario, promedio mensual de todos los sitios*

Mes	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Septiembre de 2008	33
Octubre de 2008	33
Noviembre de 2008	45
Diciembre de 2008	36
Enero de 2009	36
Febrero de 2009	24
Marzo de 2009	34
Abril de 2009	50
Mayo de 2009	28
Junio de 2009	36
Julio de 2009	26
Agosto de 2009	27
Promedio General	34

*Tabla 3: Concentraciones de NO<sub>2</sub> en la ciudad de Santa Fe, promedio mensual de todos los sitios*

En la Fig. 4, se representan la evolución del nivel de concentraciones de NO<sub>2</sub> en el período señalado, expresado en concentraciones promedio mensual para cada una de las ciudades investigadas, mientras que en la Fig. 5, pueden verse las diferencias en los valores promedios generales.

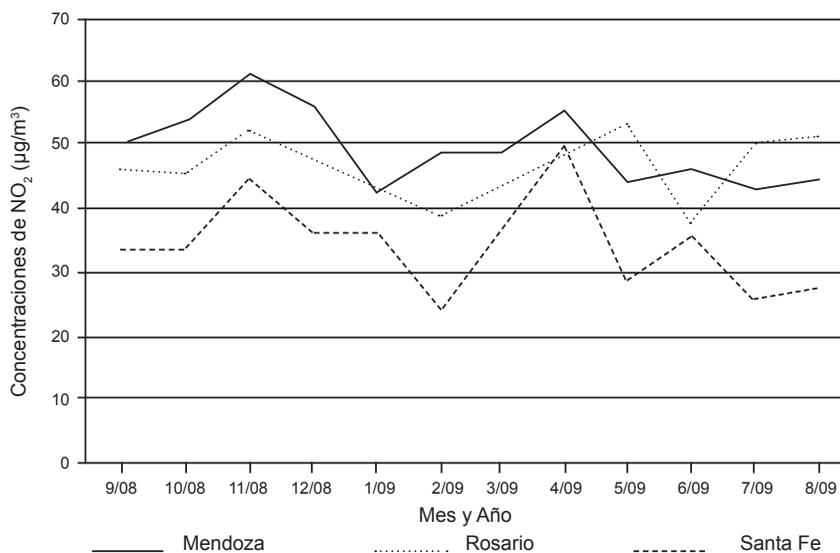


Fig. 4 - Comparación de concentraciones de NO<sub>2</sub>. Promedios mensuales período Set. 2008 a Ago. 2009

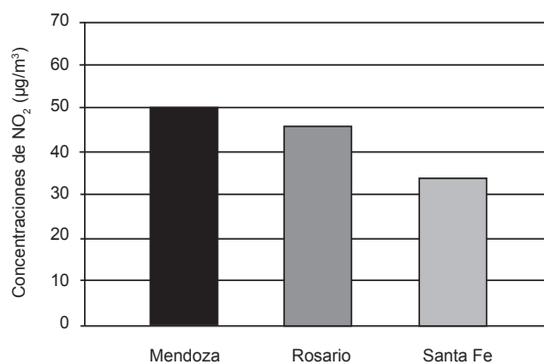


Fig. 5: Comparación de Concentraciones de NO<sub>2</sub> Promedios Generales

En la ciudad de Rosario las mediciones de NO<sub>2</sub> por el método de pasivos y también con métodos activos, se realizan desde varios años antes del inicio del presente estudio de las tres ciudades, por lo que se dispone de muchos más datos para poder procesarlos y hacer todo tipo de comparaciones. Debido a esa disponibilidad de datos se pudieron relacionar los valores obtenidos con las variables meteorológicas reinantes en la Ciudad de Rosario durante un período determinado (Andrés et al., 2009).

### CONCLUSIONES

Del análisis de los registros de concentración de NO<sub>2</sub> obtenidos, surge que los niveles de contaminación no presentan un nivel uniforme.

En la ciudad de Mendoza, se registraron los valores más altos, seguidos por los de Rosario y en un nivel bastante más bajo los de Santa Fe. Estas diferencias se esperaban desde el comienzo de las mediciones, debido a las condiciones climáticas (escasos vientos y lluvias y clima desértico) de la ciudad de Mendoza y las características de las calles céntricas con arboledas en galería que dificultan la remoción de los contaminantes emitidos por el transporte automotor.

En Rosario se esperaban valores menores al de Mendoza pero mayores a los de Santa Fe. Esto debido

a que las características de estas dos ciudades santafesinas son similares en cuanto al clima y ubicación en la Pampa húmeda, pero Rosario posee edificación más elevada y mayor densidad de tránsito automotor.

### PARTICIPACIONES

En el mismo orden de dedicación a las tareas de investigación que han involucrado a los autores del presente artículo, se citan los investigadores co-legados de las regionales Mendoza, Santa Fe y Rosario de la UTN que se enumeran a continuación:

Ing. LAURICELLA, Félix Néstor, Fac. Reg. Mendoza  
Ing. PACHECO, Carlos Gustavo, Fac. Reg. Santa Fe  
Ing. CAMINOS, Jorge Andrés, Fac. Reg. Santa Fe  
Ing. MACKLER, César Eliecer, Fac. Reg. Rosario

### REFERENCIAS

- Andrés, Ferrero y Mackler, C.E. (1997). "Monitoreo de Contaminantes del Aire en la Ciudad de Rosario". *Revista Internacional Información Tecnológica*. Vol. 8, Nº 6. pp. 11-20. La Serena-Chile (1997).
- Wark and Warner "Contaminación del Aire, Origen y Control". Editorial Limusa, México D.F. pp. 142-151. (2000).
- Stocker y Seager "Química Ambiental. Contaminación del Aire y del Agua". Editorial Blume, Barcelona – SP: pp. 51-56. (1981).
- Gair, Penkett, and Oyola, "Development of a Simple Passive Technique for the Determination of Nitrogen Dioxide in Remote Continental Locations". *Atmospheric* 25A. pp. 1927 - 1939: (1991).
- UNEP-WHO, GEMS/AIR. "Methodology Review Handbook Series. Volume 4. Active and Passive Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality". UNEP, Nairobi – KN : pp. 3-23. (1994).
- Palmes, Gunnison, Di Mattio and Tomczyc "Personal Sampler for Nitrogen Dioxide". *Americ. Ind. Hyg. Assoc. J.* 37: pp. 570-577. (1976).
- Yanagisawa and Nishimura "A Badge Type Personal Sampler for Measurement of Personal Exposure to NO<sub>2</sub> and NO in Ambient Air". *Environment International* 8: pp. 235-242. (1982).
- Tompkins and Goldsmith "A New Personal Dosimeter for the Monitoring of Industrial Pollutants". *Americ. Ind. Hyg. Assoc. J.* 38: pp. 371-377. (1977).
- Lewis, Mulik, Coutant Wooten and McMillin "Thermally Desorbable Passive Sampling Device for Volatile Organic Chemicals in Ambient Air". *Analytical Chemical* 57: pp. 214-221. (1985).
- Shooter, Brimblecombe y Brasell "Ground Level Nitrogen Dioxide Concentrations in the Rural Waikato Valley, New Zealand". Report University of Auckland, New Zealand (1991).
- Andrés, Ferrero, Mackler, Santambrosio y Ferrari "Influencia de Variables Meteorológicas en la contaminación por NOx", *Revista Tecnología y Ciencia*, Año 8 No 17. Buenos Aires.: pp. 55-59. (2009).