

# **COMPARACION DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION POR DIOXIDO DE NITROGENO ENTRE EL AMBIENTE INTERNO DE LAS VIVIENDAS FAMILIARES Y EL AMBIENTE EXTERIOR**

## **AUTORES**

Ing. Daniel Antonio Andrés. Universidad Tecnológica Nacional.  
Ing. Eduardo Joaquín Ferrero. Universidad Tecnológica Nacional.  
Ing. César Eliecer Mackler. Universidad Tecnológica Nacional.  
Ing. Eduardo Santambrosio. Universidad Tecnológica Nacional.  
Ing. Jorge Caminos. Universidad Tecnológica Nacional.

Daniel A. Andrés  
Pujato 1602 – Lomas de Alberdi  
2000 – Rosario, Argentina.  
Tel/Fax: 0054 – 341 – 4530285  
e-mail: dandres@citynet.net.ar

**RESUMEN:** Este trabajo muestra los resultados de la investigación de la contaminación por NO<sub>2</sub> en los ambientes interiores de viviendas familiares y las diferencias existentes respecto a las concentraciones de este contaminante en el ambiente externo.

En general la responsabilidad de la contaminación del aire se atribuye casi exclusivamente a las fuentes externas, tales como emisiones industriales o las provenientes del tráfico automotor, pero en realidad existen en los interiores de las viviendas fuentes de emisión muy importantes que provocan considerables concentraciones de contaminantes.

El estudio se basó en la medición de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en los ambientes interiores y exteriores de dos viviendas previamente seleccionadas. La técnica de medición utilizada fue del tipo pasiva, la cual consiste en sistemas de monitoreo basados en la difusión molecular del contaminante a través de pequeños tubos de acrílico que contienen el reactivo absorbente en uno de sus extremos.

Se concluye que de acuerdo a las mediciones realizadas las concentraciones de dióxido de nitrógeno son mayores en el interior que en el exterior de las viviendas estudiadas. La diferencia se acentúa en la temporada invernal en donde se incrementan las emisiones del contaminante y disminuye la ventilación de los ambientes.

## **COMPARISON BETWEEN INDOORS AND OUTDOORS POLLUTATION LEVELS IN FAMILIAR HOUSING**

**SUMMARY:** This work shows the results of NO<sub>2</sub> pollution research indoors of familiar houses and apartments and the existing differences in relation to this pollutant concentrations outdoors.

In general, the responsibility of air contamination is attributed exclusively to external sources, such as industrial emissions or the ones that proceed from the motors-car traffic, but in fact there are very important emission sources inside the buildings which provoke considerable pollutant concentrations.

The study is based on the NO<sub>2</sub> concentrations measurement indoors and outdoors of two previously selected houses. The employed measurement technique was one of passive type, which consists of monitoring systems based on pollutant molecular diffusion through small acrylic tubes which contain the absorbent reagent in one of their extremes.

It is concluded that according to the measurements, the concentrations of nitrogen dioxide are greater indoors rather than outdoors of the studied houses. The difference is greater in winter season where pollutant emissions are increased and ventilation diminishes.

## 1- Introducción

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas irritante que se origina fundamentalmente en los procesos de combustión. Más del noventa por ciento de los óxidos de nitrógeno que se producen de esta manera, lo hacen bajo la forma de óxido nítrico (NO), que al tomar contacto con el aire se oxida a NO<sub>2</sub>, dependiendo la velocidad de oxidación de la temperatura reinante y de la concentración de NO en el aire.

Los efectos de este gas sobre la salud oscilan desde una respuesta inflamatoria leve en las mucosas bronquiales para bajas concentraciones hasta bronquitis y otras enfermedades de tipo respiratorio para altas concentraciones (WHO, 1977). Un meta-análisis de 11 estudios epidemiológicos mostró aumento de enfermedades respiratorias en niños menores de 12 años; un incremento de 30 µg/m<sup>3</sup> en la exposición se asoció a un aumento de aproximadamente el 20% en el riesgo de sufrir una enfermedad respiratoria (Hasselblad, 1992).

En general se supone que la contaminación atmosférica procede de fuentes externas a las viviendas familiares, pero en realidad existen en los ambientes interiores potenciales productores de contaminación tal como lo son las estufas, calefones, hornos y cocinas, tanto los que funcionan con combustibles como los que son operados con energía eléctrica. Contribuyen a agravar la contaminación interior, la emisión de humo de cigarrillos y otras emisiones que producen ciertos materiales con capacidad de emitir o absorber contaminantes.

En este trabajo, se muestran los primeros resultados de la tarea de investigación emprendida, consistente en el muestreo y análisis de la contaminación por dióxido de nitrógeno en el interior de viviendas familiares mediante la utilización de muestreadores pasivos, contrastándose los registros obtenidos con las condiciones particulares de cada ámbito y con el exterior.

## 2- Análisis, Selección y Descripción de los Puntos de Muestreo

### *Característica de la ciudad de Rosario*

La ciudad de Rosario se encuentra ubicada 300 Km al Norte de la ciudad de Buenos Aires, se extiende a orillas del Río Paraná, recostada sobre su margen derecha, ocupando un área de aproximadamente 170 Km<sup>2</sup>. Su forma tiende a alargarse en el sentido Norte-Sur siguiendo la tendencia del conurbano que se prolonga desde Puerto General San Martín, 20 Km. al Norte del límite Municipal, hasta Villa Gobernador Gálvez, 5 Km al Sur, conformando una zona de urbanización global de más de 50 Km de extensión. Este conurbano involucra una línea edilicia continua, con una población del orden de 1.300.000 habitantes.

La zona pertenece a la planicie de la Pampa Húmeda con las particularidades del clima del Litoral Fluvial, con altos porcentajes de humedad relativa ambiente, temperaturas típicas del área templada (promedio de 21 °C) y vientos predominantes del Noreste y Sureste. La velocidad promedio anual de los vientos oscila en el orden de los 10 Km/hora.

Su línea de edificación tiende a concentrar edificios de altura en la zona del centro comercial-administrativo en las cercanías de su puerto y que coincide con la de mayor flujo vehicular y de mayor concentración de contaminantes.

### *Característica de las viviendas y ambientes seleccionados*

Las viviendas seleccionadas se eligieron, una en un vecindario ubicado en la región Norte de la ciudad, donde la edificación es de baja altura y sobre una calle de escaso tránsito vehicular (vivienda N° 1), en esta zona las concentraciones externas de dióxido de nitrógeno son bajas. La otra vivienda seleccionada (vivienda N° 2), se encuentra ubicada en una región semicéntrica de la ciudad, con intenso tránsito vehicular, por lo que las concentraciones externas de dióxido de nitrógeno son más elevadas (vivienda N° 2).

En la vivienda N°1, se seleccionaron tres ambientes con la siguiente descripción:

- Ambiente "A", denominado "In1A": Living comedor de 70 m<sup>3</sup> de capacidad, con cuatro puertas y una ventana. Cuenta con un equipo de calefacción de tiro balanceado.

- Ambiente "B", denominado "In1B": Dormitorio de 60 m<sup>3</sup> de capacidad, con dos puertas y una ventana. Cuenta con un equipo de calefacción con emisión de gases al interior aunque es operado con mínima frecuencia.

- Ambiente "C", denominado "In1C": Ambiente de aproximadamente 27 m<sup>3</sup> de capacidad destinado a actividades de cocina, con aberturas en tres de sus paredes, donde existe un artefacto de cocina con cuatro hornallas y un horno y un calefón. Existe una campana de extracción de gases.

En la vivienda N°2, se seleccionaron tres ambientes con la siguiente descripción:

- Ambiente "A", denominado "In2A": Antebañó de 12 m<sup>3</sup> de capacidad, con cinco puertas y sin ventanas. Cuenta con un equipo de calefacción de tipo catalítico.

- Ambiente "B", denominado "In2B": Ambiente de aproximadamente 34 m<sup>3</sup> de capacidad destinado a actividades de cocina, con aberturas en tres de sus paredes, donde existe un artefacto de cocina con cuatro hornallas y un horno. Contiene una campana de extracción de gases y no posee equipo de calefacción.

- Ambiente "C", denominado "In2C": Living de 70 m<sup>3</sup> de capacidad, con cuatro puertas y una salida amplia a balcón. Cuenta con un equipo de calefacción de tipo catalítico.

## 3- Método de Medición

Para la determinación de NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 en verano y 15 días en invierno, 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 NO<sub>2</sub> 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 µg/m<sup>3</sup> 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 quimiluminiscencia y las activas químicas, no observándose desviaciones importantes (Gair et al, 1991; Andrés et. al, 1999).

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 NO<sub>2</sub> 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 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 hasta el 30 % (Lewis et al., 1985).

#### 4- 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.

#### 5- Resultados y Discusión

Las concentraciones mensuales de NO<sub>2</sub> (en µg/m<sup>3</sup>) obtenidas en las mediciones durante un año de estudio se detallan en la Tabla N°1. En la misma figuran también los promedios mensuales de los tres ambientes estudiados de cada vivienda y las diferencias entre estos promedios y la concentración exterior en la respectiva vivienda. En la derecha de la tabla se detallan además los promedios anuales en cada punto de muestreo.

Claramente se distingue, observando los valores medidos, que las mayores concentraciones de NO<sub>2</sub> se dan en el interior de las viviendas. Dichos valores variaron para los 8 sitios muestreados (6 interiores y 2 exteriores) entre extremos de 12 µg/m<sup>3</sup> y 93 µg/m<sup>3</sup> en los interiores y entre 3 µg/m<sup>3</sup> y 24 µg/m<sup>3</sup> en los exteriores.

Tabla N° 1: Concentraciones de NO<sub>2</sub> en Ambientes Interiores y Exteriores

Amb/lnes	08/00	09/00	10/00	11/00	12/00	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	prom total
In1A	80	46	36	50	29	27	25	34	30	49	67	55	44,0
In1B	66		28	23		27	18	33	36	38	45	56	37,0
In1C	88	51		28	31	30	22	29	34	49	54	44	41,8
Prom int 1	78,0	48,5	32,0	33,7	30,0	28,0	21,7	32,0	33,3	45,3	55,3	51,7	40,9
Ext1	8	3			9	11	7	3	3	10	22	9	8,5
diferencia	70,0	45,5			21,0	17,0	14,7	29,0	30,3	35,3	33,3	42,7	32,4
In2A	89	67		33	22	24	20	26	34	31	45	43	39,5
In2B	93	42	33	42	37	24	18	22	42	48	55	52	42,3
In2C	52	44	48	33	18	12	22	26	29	37	48	46	34,6
Prom int 2	78,0	51,0	40,5	36,0	25,7	20,0	20,0	24,7	35,0	38,7	49,3	47,0	38,8
Ex2	18	10	14	8	12	11	8	12	16	14	15	24	13,5
diferencia	60,0	41,0	26,5	28,0	13,7	9,0	12,0	12,7	19,0	24,7	34,3	23,0	25,3

Las mayores diferencias entre el promedio total mensual de los interiores de cada vivienda con su respectivo ambiente exterior, se dan en ambos casos en el mes de agosto de 2000 (70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la vivienda N°1 y 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la vivienda N°2).

Tabla N° 2: Promedio de Concentraciones para cada Punto y Promedios Totales

Amb\Promedio	Prom. invernal	prom estival
In1A	67,3	27,0
In1B	55,7	22,5
In1C	62,0	27,7
Promedio interior 1	61,7	25,7
Ext1	13	9
diferencia	48,7	16,7
In2A	59,0	22,0
In2B	66,7	26,3
In2C	48,7	17,3
Promedio interior 2	58,1	21,9
Ex2	19	10,3
diferencia	39,1	11,6

Los promedios anuales, también reflejan concentraciones significativamente superiores en el interior de viviendas respecto al exterior. El mayor promedio anual del interior de la vivienda N°1 (punto A) fue de 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en contraste con el de 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del exterior de la misma. La vivienda N°2 también refleja lo expresado con un valor promedio interior de 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el punto B frente a una concentración promedio de 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el exterior. Esta diferencia se acrecienta en el período invernal debido a la utilización de los equipos de calefacción doméstica, alimentados en su gran mayoría por gas natural.

La tabla N°2 muestra los promedios de concentraciones (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para cada punto y los promedios totales para el período invernal (tomado en base a los meses de junio, julio y agosto) y para el período estival (tomado en base a los meses de diciembre, enero y febrero). Se observa que en el período invernal la vivienda N°1 alcanza en el punto A, un valor 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contra 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el exterior de la misma. En la vivienda N°2, también en el período invernal, el valor promedio alcanza un máximo de 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el punto B y 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el exterior. Estas mayores diferencias en el invierno se deben a la mayor emisión de  $\text{NO}_2$  por la calefacción doméstica y a una menor ventilación de las viviendas que incrementa las concentraciones interiores en este período.

## 6- Variación estacional

En los gráficos números 1 y 2 se representan los promedios mensuales de todos los ambientes de cada vivienda y su contraste con el exterior. Se observa que la concentración de  $\text{NO}_2$  en los interiores presenta una variación invierno verano más pronunciada que la exterior. Esta diferencia se atribuye a que en el ambiente exterior las emisiones, fundamentalmente provenientes del tránsito automotor, no tienen tanta variación entre verano e invierno. En cambio en

los interiores existe una mayor emisión invernal debido a la calefacción doméstica y que, sumado a una menor ventilación, contribuyen al aumento de las concentraciones.

Gráfico N°1 - Comparación Interior - Exterior Vivienda N° 1

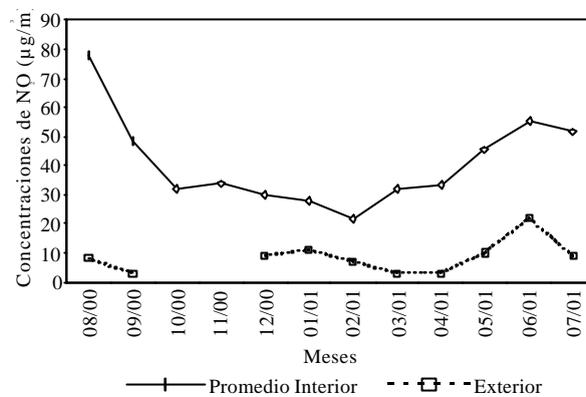
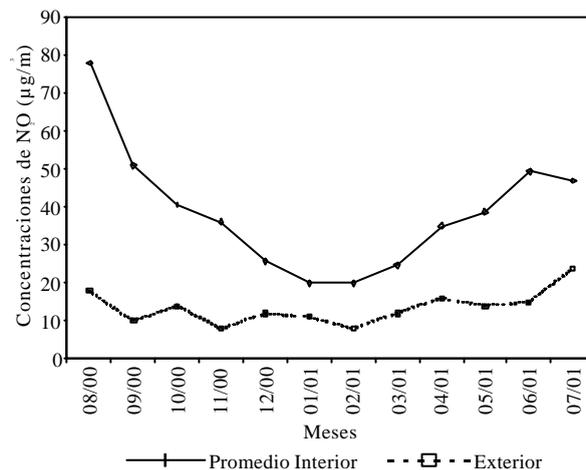


Gráfico N°2 - Comparación Interior - Exterior Vivienda N° 2



## 7- Conclusión

Se concluye que de acuerdo a las mediciones realizadas las concentraciones de dióxido de nitrógeno son siempre superiores en el interior que en el exterior de las viviendas estudiadas. La diferencia se acentúa en la temporada invernal en donde se incrementan las emisiones del contaminante y disminuye la ventilación de los ambientes.

## 8- Bibliografía

Andrés, D.A. Ferrero E.J. y Mackler, C.E. (1999). "Importancia de la Combinación de Equipos Activos y Pasivos de Monitoreo en Sistemas de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Urbana". Revista Tecnocías. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Año1 N°2. Rosaro-Argentina.1999.

Gair, A.J., Penkett, S.A. and Oyola, P.: 1991. "Development of a Simple Passive Technique for the Determination of Nitrogen Dioxide in Remote Continental Locations". Atmospheric Environment 25A. 1927 - 1939.

Hasselblad, V. (1992) "Synthesis of Environment Evidence: Nitrogen Dioxide Epidemiology Studies". Journal of The Air Waste Association 5: 8-18.

Lewis R., Mulik J., Coutant R. Wooten G. and McMillin C. (1985) "Thermally Desorbable Passive Sampling Device for Volatile Organic Chemicals in Ambient Air". Analytical Chemical 57: 214-221

Palmes E., Gunnison A., DiMattio J. and Tomczyc C. (1976) "Personal Sampler for Nitrogen Dioxide". Americ. Ind. Hyg. Assoc. J. 37:570-577.

Shooter D., Brimblecombe P. y Brasell M.R. (1991) "Ground Level Nitrogen Dioxide Concentrations in the Rural Waikato Valley, New Zealand". Report University of Auckland, New Zealand 1991.

Tompkins F. and Goldsmith R. (1977) "A New Personal Dosimeter for the Monitoring of Industrial Pollutants". Americ. Ind. Hyg. Assoc. J. 38:371-377.

UNEP/WHO 1994 "GEMS/AIR Methodology Reviews Vol.4: Passive and Active Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality" WHO/EOS/94.4, UNEP/GEMS/94.A.5. UNEP Nairobi.

World Health Organization "Oxides of Nitrogen", WHO Environment Health Criteria N° 4. Geneva. 1977.

Yanagisawa Y. and Nishimura H. (1982) "A Badge Type Personal Sampler for Measurement of Personal Exposure to NO<sub>2</sub> and NO in Ambient Air". Environment International 8: 235-242.