

# Conclusiones de tres años de monitoreo de la contaminación por dióxido de nitrógeno en las ciudades de Santa Fe y Rosario

## Three years conclusions of pollution monitoring due to nitrogen dioxide in the cities of Santa Fe and Rosario

J. A. Caminos \*, A. J. Cozzi y J. C. Doyharzabal  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Santa Fe  
Grupo de Estudios Sobre Energía  
Lavaise 610 – 3000 – Santa Fe – Argentina  
Tel: +54 - 342- 4601579 - FAX: +54 - 342 - 4690348  
\*e-mail: jcaminos@frsf.utn.edu.

### Resumen

*El objetivo de este trabajo es presentar las conclusiones de las mediciones realizadas durante tres años de monitoreo y comparar las mismas con los valores establecidos por distintos organismos. El Grupo de Estudios Sobre Energía (G.E.S.E.) concluyó en Diciembre de 2000 un proyecto de investigación cuyo objetivo es "Determinar la contaminación del aire por dióxido de nitrógeno en las dos ciudades más importantes de la provincia de Santa Fe" mediante técnicas pasivas de monitoreo. En total se han instalado 29 estaciones de monitoreo en las ciudades de Santa Fe y Rosario. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que las concentraciones de dióxido de nitrógeno en las ciudades de Rosario y Santa Fe, aumentan en relación directa con la cantidad de vehículos que circulan por sus calles. También influyen notablemente el tipo de edificación, la existencia de forestación y las condiciones climáticas.*

**Palabras clave:** Contaminación, monitoreo, dióxido de nitrógeno, aire, investigación

### Abstract

*The object of this paper is to present our conclusions about measurements carried out along three years of monitoring and to compare them with different organizations established values. The Study Group About Energy (G.E.S.E.) concluded in December 2000 a research project which object was " To determine amount of nitrogen dioxide air pollution in the two most important cities of Santa Fe province" by means of passive monitoring techniques. On the whole, twenty-nine monitoring stations were installed in Santa Fe and Rosario cities. According to the outcomes, we can determine that nitrogen dioxide concentrations in Santa Fe and Rosario cities increase in direct ratio with the amount of circulating vehicles. Consequently, the way the buildings are constructed, the forestation existence and weather conditions obviously contribute.*

**Key words:** Pollution, monitoring, nitrogen dioxide, air, research

### 1 Introducción

Este proyecto surgió como continuación de otros estudios de calidad de aire realizados en distintas localidades de la provincia de Santa Fe por parte del Grupo GESE. En los mismos se utilizaron diversas metodologías de medición y se monitorearon distintos contaminantes con equipamientos activos, pasivos y automáticos.

En un proyecto anterior los equipos de monitoreo de tipo pasivo se utilizaron en la ciudad de Roldán, localidad

de aproximadamente 10.000 habitantes, cercana a la ciudad de Rosario.

Los valores medidos durante un año en dicha ciudad coinciden con los registrados en otras partes del mundo para ciudades similares como por ejemplo, la ciudad de Huntly ubicada en la región de Waikato Valley, Nueva Zelanda (Shooter et. al. 1992), pequeña comunidad con una población de 6900 habitantes, de tipo residencial, no industrial al igual que la ciudad de Roldán en Argentina.

El estudio en la ciudad de Roldán mostró también,

con respecto al realizado en Nueva Zelanda, coincidencias en las variaciones estacionales, con un mayor nivel de concentraciones en el período invernal respecto al estival.

Esta tendencia se registra también en otros estudios sobre niveles de dióxido de nitrógeno en pequeñas localidades no industriales y áreas suburbanas (Campbell, 1988; Williams et al., 1988).

Luego de 26 meses de monitoreo en forma simultánea en las ciudades de Rosario y Santa Fe, se encuentran notables diferencias en los valores obtenidos respecto a los estudios mencionados en los párrafos anteriores.

En el presente informe se analizan estos datos, pudiendo mencionarse, al igual que en los informes de avance del proyecto, que las concentraciones encontradas son elevadas; principalmente en la ciudad de Rosario, que cuenta actualmente con aproximadamente 1.000.000 de habitantes, un gran parque automotor y predominio de edificación de altura en la zona céntrica.

Sin embargo, la mayor diferencia respecto a los estudios realizados, está en la variación estacional. La notable superioridad de los valores invernales, dada en las ciudades de tipo residencial, no se registra netamente en los grandes centros urbanos analizados en el presente proyecto.

## 2 Topografía de las áreas en estudio

Santa Fe, es una ciudad de aproximadamente 500.000 habitantes, no industrial, ubicada en una planicie que se caracteriza por la horizontalidad de su relieve, de clima templado y cálido, humedad relativa promedio de 70% y promedio anual de lluvias 1000 mm.

Los vientos de mayor influencia son los provenientes del nordeste (cálidos y húmedos), los del suroeste (frío y seco) y la sudestada (con alto contenido de humedad). Las estaciones de monitoreo se ubicaron 9 en el casco céntrico donde la edificación es medianamente alta y hay mayor tránsito automotor y 1 en una zona residencial, alejada del centro y con mediano tráfico automotor.

La ciudad de Rosario se encuentra ubicada a 140 km al sur de la ciudad de Santa Fe, se extiende a orillas del río Paraná, recostándose sobre su margen oeste, ocupando un área de aproximadamente 170 km<sup>2</sup>. Su forma tiende a elongarse en el sentido norte-sur. Su población global es del orden de 1.400.000 habitantes.

La zona pertenece a la planicie de la pampa húmeda con las particularidades del clima del litoral fluvial, es decir altos tenores de humedad relativa ambiente, temperaturas típicas del área templada y vientos predominantes del sur. Se colocaron 19 estaciones de monitoreo distribuidas 15 en el casco céntrico, 1 en una zona parquizada frente al río Paraná y 3 en zonas residenciales.

## 3 Método

Los muestreadores pasivos son simples equipos que

pueden utilizarse para la medición ambiental de contaminantes gaseosos. Consisten en un pequeño tubo sellado en uno de sus extremos y abierto en el otro. El principio en el que se basan es la "difusión molecular" del gas desde el aire ambiente, a través del tubo, hacia un absorbente situado en el extremo cerrado del mismo.

Los tubos utilizados tienen un largo de 70 mm y un diámetro interior de 12 mm. El absorbente utilizado es TEA (Trietanolamina), que se coloca entre dos mallas de acero inoxidable. Cálculos basados en la velocidad de difusión del dióxido de nitrógeno en aire, muestran que un equipo pasivo de estas características tiene un flujo volumétrico equivalente a 72 cm<sup>3</sup>/h (Campbell, 1988).

En las áreas de estudio los muestreadores fueron colocados en soportes plásticos a una altura entre 1,5m y 3 m. De los 29 sitios de medición elegidos, en 15 de los mismos las muestras fueron parcialmente discontinuadas debido a roturas de los soportes y a actos de vandalismo.

Los muestreadores son recolectados y reemplazados mensualmente desde el mes de agosto de 1998. El rechazo de muestras y las pérdidas de equipos (6,8 %) se atribuyen principalmente a roturas, invasión de insectos y actos de vandalismo.

Durante la exposición al ambiente el NO<sub>2</sub> se acumula como ión nitrito sobre la TEA colocada entre las mallas de los muestreadores.

El análisis consiste en el agregado de sulfanilamida, que se diazota por medio del ión nitrito y la posterior formación de un azocompuesto color púrpura, que se produce por la copulación de la sal de diazonio con el agregado de N-1 naftil etilen diamino diclorhidrato. Muestras y blancos son medidos por espectrofotometría a 540 nm utilizando microcubetas de 10 mm de paso.

El límite inferior de detección del método es de 0,1 mg/m<sup>3</sup> (Gair et al., 1991). La toma de muestras en período mensual ha probado ser representativa en zonas de concentraciones bajas y medias de NO<sub>2</sub> (hasta aproximadamente 200mg/m<sup>3</sup>) y la metodología ha sido comparada con otras técnicas automáticas de quimiluminiscencia y activas químicas no observándose desviaciones de orden superior al 3 % (Gair et al., 1991).

## 4 Resultados y discusiones

El presente informe muestra los resultados de los análisis de las muestras tomadas entre el mes de agosto de 1998 y el mes de septiembre de 2000. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla N° 1 y 2:

### 4.1 Promedio anual de concentraciones de dióxido de nitrógeno

Como puede observarse en las tablas 1 y 2, las concentraciones de NO<sub>2</sub> variaron entre los valores extremos de 1 µg /m<sup>3</sup> y 104 µg /m<sup>3</sup> en la ciudad de Rosario y entre 1 µg/m<sup>3</sup> y 64 µg /m<sup>3</sup> en la ciudad de Santa Fe.

#### 4.2 Sitios de mayores concentraciones

Como puede observarse, el sitio de monitoreo N° 7 de la ciudad de Rosario es el que presenta el mayor promedio de concentración de  $\text{NO}_2$  ( $60,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el período de medición. En la ciudad de Santa Fe el punto de mayor promedio fue el N° 3 ( $34,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

La diferencia entre los dos sitios de mayor contaminación de ambas ciudades alcanza el valor de  $26,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor muy significativo, indicativo de que las grandes urbes están expuestas a una mayor contaminación con todos los riesgos que ello implica. Investigaciones de la Organización Mundial de la Salud indican que un incremento en las concentraciones de  $\text{NO}_2$  de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aumenta en un 20% la probabilidad de enfermedades respiratorias en niños de corta edad;  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es un valor muy cercano a la diferencia de concentraciones entre los sitios de mayor promedio de ambas ciudades.

La generalidad de las normativas, tanto de orden nacional como internacional no establecen valores límites de  $\text{NO}_2$ , sino que fijan concentraciones de óxidos de nitrógeno totales ( $\text{NO}_x$ ), es decir la suma de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ , expresados ambos como  $\text{NO}_2$ .

No obstante lo comentado en el párrafo anterior, la normativa de protección del aire del Reino Unido, establece un límite máximo de calidad de aire para el  $\text{NO}_2$  de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio anual. Si tenemos en cuenta la misma podemos expresar, en función de los promedios registrados, que solo un punto de monitoreo de la ciudad de Rosario excede dicho límite (puntos N° 7), mientras que en la ciudad de Santa Fe en ninguno de los sitios de medición se superó dicho estándar; el valor de mayor promedio de esta última ciudad (correspondiente al punto N° 3) está  $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por debajo del límite establecido por la legislación inglesa. El punto N° 3 de la ciudad de Rosario presenta un valor de  $49,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  encontrándose prácticamente en el límite de lo establecido por la legislación británica.

Si tenemos en cuenta los dos puntos de cada ciudad en estudio que presentan mayores promedios de concentraciones podemos decir que en todos ellos existe la presencia de un tránsito vehicular intenso, caracterizado por el pasaje de varias líneas de transporte urbano de pasajeros. En el punto de monitoreo N° 7 de la ciudad de Rosario, ubicado en la intersección de las calles San Luis y Entre Ríos, sitio donde se presentan las mayores concentraciones de  $\text{NO}_2$  de todo este estudio de investigación, existe una microestación de Colectivos, donde los mismos permanecen con el motor en marcha en estado de ralentí durante períodos de tiempo que oscilan entre los 2 y 5 minutos; esto hace suponer que la presencia de vehículos de transporte urbano, donde estos desarrollan velocidades bajas o nulas, en zonas de alto tránsito vehicular, incrementa la emisión de  $\text{NO}_2$ , manifestándose en mayores niveles respirables de dicho contaminante.

Respecto a la difusión gaseosa, siguiendo con el

análisis de los dos puntos de mayores promedios de cada ciudad, podemos mencionar que los puntos de medición en la ciudad de Santa Fe presentan una edificación de baja altura al contrario de los sitios rosarinos, caracterizados sobre todo el punto N° 3, por edificación de propiedad horizontal y calles estrechas. Esto, sumado al mayor tráfico existente en la ciudad de Rosario explicaría en parte la gran diferencia entre los promedios registrados entre ambas ciudades, ya que en la ciudad de Rosario, debido a la edificación de altura, habría una menor difusión gaseosa, aumentando, por lo tanto, las concentraciones de inmisión.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el Punto N° 7 de la ciudad de Rosario se encuentra aledaño a una plaza con abundante parqueizado de árboles frondosos y, obviamente, sin edificación, haciendo pensar entonces, que los árboles, mediante sus copas podrían impedir en parte la difusión gaseosa. Lo expresado se visualiza también en el punto N° 11 de la ciudad de Rosario, que se encuentra en una zona frente al Parque de la Independencia; la edificación es baja, el tránsito vehicular es alto y hay gran cantidad de árboles frondosos; el valor promedio de  $45,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  refuerza la idea que las arboledas impiden en parte la difusión de los contaminantes.

#### 4.3 Sitios de menores concentraciones

Teniendo en cuenta los promedios de concentraciones sobre todo el período de mediciones, puede visualizarse que 5 puntos en la ciudad de Rosario (números 10, 13, 16, 17 y 18) y tres puntos en la ciudad de Santa Fe (números 5, 8 y 9) no exceden los  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Un comentario en especial merecen los puntos numerados 16, 17 y 18 de la ciudad de Rosario. Los mismos están situados sobre la zona norte de la ciudad y fueron allí colocados con el fin de establecer la influencia ejercida por una Estación de Generación de Energía Eléctrica de gran porte (Sorrento), que está situada vecina a la localización de los muestreadores en cuestión. Analizando las concentraciones registradas en los puntos número 16, 17 y 18, se puede deducir que la emisión de la Usina Termoeléctrica de Sorrento no ejerce influencia significativa sobre las concentraciones de inmisión de  $\text{NO}_2$ , habiendo una gran difusión debido a que sus instalaciones están situadas vecinas al Río Paraná y a que su chimenea es de gran altura (aproximadamente 80 metros). Puede expresarse también, con respecto a estos sitios de monitoreo, que los mismos han sufrido variaciones mínimas en sus promedios anuales.

El punto N° 13 de la ciudad de Rosario está situado sobre un parque, en zona alejada de la emisión de  $\text{NO}_2$  por parte de los vehículos automotores, en dicho punto se esperaba previamente la presencia de bajas concentraciones del contaminante.

Es el único sitio de baja concentración en la ciudad de Rosario, cuyo promedio anual ha disminuido sensiblemente (14,17 %) entre los años 98-99 y 99-2000.

Tabla 1. Valores de concentración de NO<sub>2</sub> - ciudad de Rosario -

	A 98	S 98	O 98	N 98	D 98	E 99	F 99	M 99	A 99	M 99	J 99	J 99	A 99	S 99	O 99	N 99	D 99	E 00	F 00	M 00	A 00	M 00	J 00	J 00	A 00	S 00
<b>Ros. 1</b>	83	32	36	34	18	60	50	46	30	55	44	34	66	15	33	19	22	29	28	22	95	86	80	88	80	22
<b>Ros. 2</b>	18	8	16	11	5	9	8	15	14	40					9	7	17	14	15	18	22	35				
<b>Ros. 3</b>	52	46	73	97	67	37	80	65	32	48	39	23	83	10	36	55	40	62	41	20	30	21	56	60	52	57
<b>Ros. 4</b>	20	8	8	7	3							8	35	17	14	22	26	28	19	5	14	16	16	12	22	32
<b>Ros. 5</b>	46	30						42	35	41	33	25	31		50	34	34			30	32	40	44			30
<b>Ros. 6</b>	62	29	27	56	50	49	30	40	57	36	32	26	63	28	39	27	31	30	34	16	35	35	24	70	56	49
<b>Ros. 7</b>	98	37	82	79	60	79	74	54	47	64	35	49	75	45	79	48	52	40	39	24	$\frac{10}{4}$	39	53	67	84	72
<b>Ros. 8</b>	37	23	16	9	2			14	3	33	25	19	12	13	16	8	10	8	9	8	11	12	28	26	20	16
<b>Ros. 9</b>	23	9	16	48	11	8	6	15		15	17	22	19			14	11			19	17		22	18	10	
<b>Ros. 10</b>	11	4	9	7	10	6	7	7	16	18	9	5	5	4	7	6	3	7	5	2	11	9	15	19	18	7
<b>Ros. 11</b>	66	37	53	75	48	53	60	10	43	59	51	33	37	27	42	18	54	45	42	42	53	51	45	54	42	29
<b>Ros. 12</b>	65	22	64	59	56	61	47	23	30	48	40	48	33	44	46	21	20		33	37	35	40	44	79	54	24
<b>Ros. 13</b>	13	3	6	7	5	4	4	4	29	17	14	16	11	3	5	2	5	4	1	10	11	12	7	32	11	6
<b>Ros. 14</b>	31	11	25	16	16	17	27	9	12	26	15	28	28	19	20	25	28	26	24	20	15	18	24	27	29	17
<b>Ros. 15</b>	53	32	41	29	26	46	57	32	38	43	28	37	46					35	31	45	36	39	36	64	44	52
<b>Ros. 16</b>	4	4	7	7	14	16	10	5	5	9	6	3	5	3	3	8	10	12	5	3	7	12	9	20	8	3
<b>Ros. 17</b>	3	4	4	10	11	5	11	2	6	6	4	2	2	3	4	5	4	10	4	2	2	5	6	16	12	3
<b>Ros. 18</b>	4	1	6	9	9	16	5	3	9	14	10	6		3	6	4	15	11	3	4	9	13	8	11	4	6
<b>Ros. 19</b>	31	12	21	11	9	12	13	24	22	42	34	26	28	23	19	17		15	17		20	23	26	41	33	21

Tabla 2. Valores de concentración de NO<sub>2</sub> - ciudad de Santa Fe

	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
	98	98	98	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	00	00	00	00	00	00	00	00	00
S. Fe 1	30	10	42	33	21	19	28	20	14	31	26	25	18	13	31	16	26	25	19	25	32	13	18	24	39	35
S. Fe 2	17	19		15	9	11	15	14	18	37	26	46	27	26	35	13	27	18	18	40	36	50	44	34	26	30
S. Fe 3	23	26	56	34	23	31	28	30	36	48	30	43	34	15	43	24	27	35	26	48	39	30	35	24	64	46
S. Fe 4	44	15	33	27	17	16	16	21	17	37	33	48	31	19	30	10	16	14	17	20	21	34	27	49		36
S. Fe 5	10	8	9	12	7	7	22	6	9	13	20	11	7	2	7	7	9	4	6	10	10	7	9	19	8	7
S. Fe 6	23	13	15	7	9	9	12	20	12	26	21	21	13	6	11	3	9	13	5	7	10	10	15	19	8	7
S. Fe 7	49	12		11	11	14	17	11	1	22		4	15	8	18	5	13	11	10	24	35	18	15	32	22	24
S. Fe 8	10	2	7	9	11	9	10	5	3	11	13	11	7	3	11	4	13	6		5	15	7	13	19	8	
S. Fe 9	12	20	5	11	13	7	10	2	1	7		9	6	11	4	3	8	6		8	13	7	8	8	8	6

El punto N° 10, que presenta también bajas concentraciones promedio (sobre todo el período de medición) de NO<sub>2</sub>, está situado sobre la intersección de una Avenida y una calle, ambas de intensa circulación vehicular, por lo que podemos expresar que en dicha zona existe una gran emisión del contaminante. Las bajas concentraciones de inmisión registradas pueden obedecer a que en dicha zona exista una gran difusión gaseosa debido a la edificación de baja altura y al ancho significativo de la avenida donde está situado el punto de monitoreo. Es de destacar que dicha zona se caracteriza también por la carencia total de árboles, reforzando por tanto la idea de que los mismos entorpecen la difusión gaseosa de los contaminantes. Las concentraciones promedio anuales no han sufrido variación en este punto.

En la ciudad de Santa Fe, los puntos de menores concentraciones se sitúan en zonas de importante tránsito y edificación de baja altura, por lo tanto podemos suponer que en dichas zonas la difusión gaseosa es de importancia tal, que la misma supera a la contribución de la emisión vehicular resultando en bajas concentraciones de inmisión del contaminante. No obstante, el Boulevard Pellegrini, donde se encuentra el muestreador N° 8, presenta un cantero central con arboleda frondosa; las bajas concentraciones registradas estarían en contraposición con las suposiciones mencionadas anteriormente donde se indicaba que en zonas de árboles frondosos se dificulta la difusión gaseosa aumentando las concentraciones de inmisión. De estos puntos de menor concentración de la

ciudad de Santa Fe, el N° 5 ha disminuido sensiblemente su promedio del último año con respecto al anterior (aproximadamente 25 %), en cambio el punto N° 8 aumentó su concentración en 15,7% y el punto N° 9 no ha variado significativamente (menos del 10 %).

#### 4.4 Ubicación de los muestreadores

Si bien no puede establecerse con exactitud las variables a tener en cuenta para ubicar correctamente este tipo de muestreadores, como primera aproximación se puede mencionar que en la generalidad, en los muestreadores colocados bajo zonas techadas tienden a registrarse concentraciones mayores de contaminantes que en los colocados en zonas totalmente abiertas. Lo expresado se reforzaría si tenemos en cuenta que los muestreadores como el N° 10 de la ciudad de Rosario, colocado sobre un techo, presentan concentraciones relativamente bajas respecto a la emisión que se da en los mismos, haciendo suponer que las interferencias respecto a las zonas de emisión (caños de escape a 30 cm sobre el nivel del suelo) serían un factor de importancia a tener en cuenta en estudios de este tipo.

#### 4.5 Estudio de percentiles

Se realizó un trabajo estadístico sobre las cuatro estaciones de monitoreo de mayor promedio de la ciudad de Rosario (números 1, 3, 7 y 11) y las dos de mayor promedio

de la ciudad de Santa Fe (números 2 y 3). Para ello se ordenaron los datos de concentraciones de NO<sub>2</sub> registrados en cada uno de estos dos grupos y se determinaron los percentiles 50 y 95.

Los datos de cada grupo ordenados en forma creciente y los percentiles 50 y 95, son los siguientes: para Rosario: cantidad de valores: 104, valor percentil 50: 48 y valor percentil 95: 85,6; y para Santa Fe: cantidad de valores: 51, valor percentil 50: 29 y valor percentil 95: 48,9.

Puede decirse entonces, con un 95 % de confianza, que para los 4 sitios de mayores concentraciones monitoreados en la ciudad de Rosario, el 50% de las mediciones superará el valor de 48 y el 5 % superará el valor de 85,6; también puede expresarse que para los dos sitios de mayor concentración de la ciudad de Santa Fe, el 50% de las mediciones superará el valor de 29 y el 5% superará el valor de 48,9.

Si tenemos en cuenta en este estudio estadístico, a la normativa inglesa de control de calidad del aire para NO<sub>2</sub>, que establece un valor máximo de 50 mg/m<sup>3</sup> y observando que al tener el percentil 50 de la ciudad de Rosario el valor de 48 (muy cercano a 50, el valor de la norma) y al tener el percentil 95 de la ciudad de Santa Fe el valor de 48,9 (también muy cercano al valor norma), podemos expresar con un 95% de confianza que en la ciudad de Rosario (en las zonas más contaminadas) aproximadamente el 50 % de los valores superará el Estándar de Calidad de Aire mencionado, mientras que en la ciudad de Santa Fe (en los lugares más contaminados) solamente el 5% de los valores superará dicho estándar.

#### 4.6 Variación estacional

Como ya ha sido mencionado anteriormente, si bien no todos los valores de cada sitio de medición registran una tendencia a la disminución en la temporada estival, puede esta tendencia notarse si se analizan los promedios de todas las mediciones en función del tiempo.

La tendencia a la disminución de concentraciones durante el verano se atribuye a la incidencia de varias causas, ente las cuales se pueden citar:

Mayor efecto dispersivo en verano como consecuencia del aumento de la capa límite (tropopausa) y los fuertes flujos ascensionales de aire provocados por el aumento de temperatura de superficie.

Menor emisión del contaminante en los meses cálidos por la no utilización de la calefacción doméstica.

Tiempo de vida de los NO<sub>x</sub> (menor de un día en verano y varios días en invierno), debido a variaciones en el ciclo fotoquímico (Singh, 1987).

Es posible que ninguno de estos factores sea el determinante exclusivo de las diferencias estacionales observadas, sino que todos ellos aporten de alguna manera

a generar este desfase. De acuerdo a las investigaciones realizadas en Nueva Zelanda, ninguno de los factores mencionados ha sido establecido como responsable principal y por lo tanto no conforman un nivel de comprensión total del Fenómeno observado.

## 5 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en los distintos lugares de medición surge como conclusión que las concentraciones de dióxido de nitrógeno en las ciudades de Rosario y Santa Fe, aumentan en relación directa con la cantidad de vehículos que circulan por sus calles.

También influyen notablemente el tipo de edificación, que cuanto mayor es la altura, mayor es la resistencia a la difusión gaseosa de los contaminantes, aumentando la concentración de los mismos; al igual que el ancho de las calles siendo mayor la concentración a medida que se estrechan. La existencia de forestación sobre todo si forman galerías sobre las calles dificultan la difusión e incrementan notablemente las concentraciones de contaminante en la atmósfera circundante, tal como se especifico en el punto de estudio de "Sitios de mayores y menores concentraciones". El clima incide según las estaciones del año, disminuyendo las concentraciones en los meses cálidos debido en mayor medida al aumento de la capa límite, que permite una mayor difusión de los contaminantes y dificultando la remoción en los meses invernales al disminuir el espesor de la capa límite, con lo que las concentraciones de contaminante son mayores, tal como se explico en el ítem "variación estacional".

## Bibliografía

- Campbell GW, (1988), Measurement of nitrogen dioxide at Rural Sites in the United Kingdom Using Demission Tubes, *Environment Pollution* 55, pp. 251-270.
- Gair A, Penkett S and Oyola P, (1991), Development of a Simple Passive Technique for the Determination of nitrogen dioxide in Remote Continental Locations, *Atmospheric Environment*: 25 A (9), pp. 1927-1939.
- Palmes E, Gunnison A, DiMattio J and Tomczyk C, (1976), Personal Sampler for nitrogen dioxide, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 37, pp. 570-577
- Shooter D, Brimblecombe P and Brasell MR, (1992), Ground Level nitrogen dioxide Concentrations in Rural Waikato Valley, New Zealand.
- Singh HB, (1987), Reactive Nitrogen in the Troposphere, *Environment Science and Technology* 21, pp. 320-327
- Williams ML, Broughton GF, Bower JS, Drury VL, Lilley K, Powell K, Rogers FS and Stevenson KJ, (1988), Ambient NO<sub>x</sub> Concentrations in the U.K. 1976-1984 - A Summary, *Atmospheric Environment* 22, pp. 2819-2840.