

DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN EL ENTORNO DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

Mazzeo, N.A. - Venegas, L.E.

**Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pab 2. 1428-Buenos Aires.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.**

RESUMEN

Se presenta una metodología objetiva destinada a seleccionar el número mínimo y el lugar de ubicación de muestreadores destinados a detectar los valores más altos de concentración de contaminantes del aire en el entorno de fuentes puntuales fijas. La metodología se basa en el análisis de concentraciones medias horarias calculadas aplicando modelos de difusión atmosférica y que superan un valor establecido como referencia. El número y la posición de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire se determinan teniendo en cuenta la probabilidad de registrar altos valores de concentración. Se aplica el procedimiento a la determinación de la ubicación de muestreadores de dióxido de nitrógeno emitido desde las chimeneas de la Central Termoeléctrica Puerto en la Ciudad de Buenos Aires. Se encuentra que doce muestreadores ubicados en diferentes direcciones permitirían detectar el 74.5% de los casos en los cuales la concentración de NO_2 supere el 20% del límite máximo admisible establecido para la Buenos Aires. Se presentan los lugares destinados a posibles ubicaciones.

1 . INTRODUCCION

Hace varias décadas, la selección de los lugares de monitoreo de calidad del aire se efectuaba desde un punto de vista cualitativo (ver Mazzeo y otros, 1972). Principalmente, esto se debió a que no se conocía detalladamente la compleja naturaleza de los procesos que influyen sobre la calidad del aire. Generalmente, la concentración de contaminantes en aire está determinada por las características particulares y por la distribución de las fuentes de emisión y por la variabilidad espacio-temporal de los procesos de transporte, dispersión, mezcla y acumulación de contaminantes en la atmósfera.

Desde hace un par de décadas, la determinación del número y de la ubicación de estaciones de monitoreo se ha basado en la predicción de la concentración de contaminantes en el aire a nivel del suelo utilizando modelos de difusión atmosférica. El objetivo principal de esta metodología consiste en la optimización del número y de las ubicaciones de los muestreadores de contaminantes del aire. Esto posibilita la utilización de un mínimo número de instrumentos con una disminución de los costos asociados.

Distintos autores han desarrollado procedimientos objetivos destinados a la evaluación del número de estaciones de monitoreo de calidad del aire y de los lugares destinados a su ubicación. A continuación se resumirán algunos de los trabajos elaborados sobre el tema. Seinfeld (1972) presentó un método destinado a obtener la ubicación óptima de estaciones de monitoreo de calidad del aire, de manera tal que la mismas dependan de las variaciones de los parámetros de entrada de un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Noll y otros (1977) desarrollaron un método cuantitativo para determinar el número total y la ubicación de estaciones de monitoreo basado en la utilización de modelos de difusión atmosférica, de datos meteorológicos históricos y en consideraciones de probabilidad y estadística. Munn (1981) revisó y resumió diferentes criterios destinados a diseñar la ubicación de estaciones de monitoreo. Noll y Mitsutomi (1983) presentaron una metodología para la selección de lugares de muestreo de calidad del aire, ordenando dichos lugares de acuerdo con la capacidad de cada uno de ellos para evaluar el dosaje originado por la exposición a contaminantes del

aire cerca de las fuentes emisoras. Langstaff y otros (1987) desarrollaron un método objetivo destinado a diseñar redes óptimas de calidad del aire y aplicaron esta metodología al diseño de una red de monitoreo destinada a evaluar la exposición horaria al benceno en aire en el región sudeste del valle del Río Ohio (EE.UU.). Wu y Zidek (1992) utilizaron un método para diagramar una red basado en la maximización de la información procedente de sitios no monitoreados. Haas (1992) consideró una optimización multiobjetiva mediante la cual se optimiza la combinación de la minimización de errores de predicción, la minimización de costos, la estimación de la varianza y el aumento en la probabilidad de detección de las violaciones de las normas de calidad del aire. Oehlert (1996) presentó una guía para la optimización de las dimensiones de una red de monitoreo basada en consideraciones estadísticas. Esta metodología proporciona resultados cuali-cuantitativos de la información perdida resultante de la no operabilidad de diferentes de muestreadores de una red de monitoreo. Wu y Chan (1997) presentaron un estudio comparativo de tres redes de monitoreo de concentración de SO_2 en el aire de Hong Kong. También identificaron el efecto de algunos factores (por ejemplo: condiciones meteorológicas, distancia, emisiones locales) sobre la variabilidad espacio-temporal de los datos de calidad del aire y presentaron algunas consideraciones sobre la futura racionalización de redes de muestreo. Mazzeo y Venegas (1998, 2000) desarrollaron un método objetivo destinado a determinar el número y la ubicación de muestreadores de calidad del aire que puedan detectar altas concentraciones medias horarias de un contaminante en aire mediante la utilización de un modelo de difusión atmosférica.

En este trabajo, se presenta el procedimiento que hemos desarrollado en los trabajos mencionados y una aplicación a la determinación del número y la ubicación de muestreadores de calidad del aire que puedan detectar altas concentraciones medias horarias en aire de dióxido de nitrógeno emitido desde las chimeneas de la Central Termoeléctrica Puerto ubicada en la Ciudad de Buenos Aires.

2. DESARROLLO

2.1. Metodología para la selección del número de muestreadores y de lugares de muestreo

A continuación se presenta una metodología para la selección del número de muestreadores y de los lugares para su ubicación. La primera etapa de este procedimiento está conformada por la obtención de la distribución espacio-temporal de la concentración (C) de contaminantes en aire a nivel del suelo en diferentes condiciones atmosféricas para el período de promedio de interés. Estas concentraciones son determinadas mediante un modelo apropiado de difusión atmosférica.

La segunda etapa consiste en la identificación de las concentraciones medias máximas ($C_{\text{máx}}$) de contaminantes en aire a nivel del suelo y de la distancia ($X_{\text{máx}}$) de ocurrencia a la fuente de emisión.

En la tercera etapa se deben encontrar los casos en que $C_{\text{máx}} > C_R$ (concentración de referencia).

En la cuarta etapa, para las situaciones en que $C_{\text{máx}} > C_R$, se evalúa el segmento de distancia en el cual puede ubicarse el muestreador. Para estimar este segmento es necesario obtener la distribución horizontal de la concentración de contaminantes en aire a nivel del suelo para cada clase de estabilidad atmosférica, velocidad y dirección del viento, y por superposición de los campos correspondientes a cada caso se obtiene el segmento (D_x) en el que $C > C_R$ para cada dirección. También, mediante el mismo procedimiento se determina la distancia transversal (D_y) en la que se verifica que $C > C_R$. En la quinta etapa, se estima el área en la que es posible ubicar un muestreador, de manera que el valor de la concentración a medir sea mayor que el de referencia para cada dirección de la pluma siempre que $C_{\text{máx}} > C_R$.

Para ilustrar en detalle el método descripto, se considerarán las emisiones desde una chimenea cuya altura es 45.0m, el diámetro es 6.0m, la velocidad de emisión de los gases es 16.0 m/s, la temperatura de los gases a la salida de la chimenea es 400K y el caudal másico de emisión de NO_2 es 60g/s. Se supone que la desviación estándar de los datos horarios de emisión es pequeña, tal que el valor del caudal másico de la emisión permanece constante. Las concentraciones medias horarias se calcularán mediante el modelo "Industrial Source Complex Model Short Time" (ISCST3) (ver USEPA, 1995).

El modelo ISCST3 es un modelo de la “pluma gaussiana” aplicable a casos estacionarios que puede ser utilizado para evaluar la concentración en aire de contaminantes emitidos desde fuentes de emisión asociadas a un complejo industrial. Los datos meteorológicos utilizados en el modelo abarcan el año 1994 de información horaria correspondiente a la estación meteorológica Aeroparque Buenos Aires Aero perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (Argentina). Estos datos incluyen los valores horarios de la temperatura del aire, de la velocidad y dirección del viento y de la nubosidad. Con estos valores se calcularon las clases de estabilidad atmosférica (Turner, 1964) y las alturas de la capa de mezcla (Zilitinkevich y Mirinov, 1996).

Los cálculos de concentración de NO_2 en aire realizados por el modelo se efectuaron para receptores ubicados según una simetría polar, para radios comprendidos entre 100m y 6000m de la fuente, con paso de 50m y para cada dirección con paso de 10° , abarcando 360° . La chimenea fue localizada en el punto central (0,0). Se consideró además: a) período de promedio: 1 hora; b) período total: 1 año; c) concentración media horaria de referencia (C_R) de NO_2 en aire utilizada para la comparación: $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 1 se presenta la distribución de frecuencias acumuladas de las concentraciones medias horarias máximas de NO_2 en aire a nivel del suelo calculadas para todo el año. Los valores obtenidos están comprendidos entre $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones más frecuentemente obtenidas (68.8%) se encontraron entre $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sólo el 2.8% de los datos superó la concentración de referencia $C_R=80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

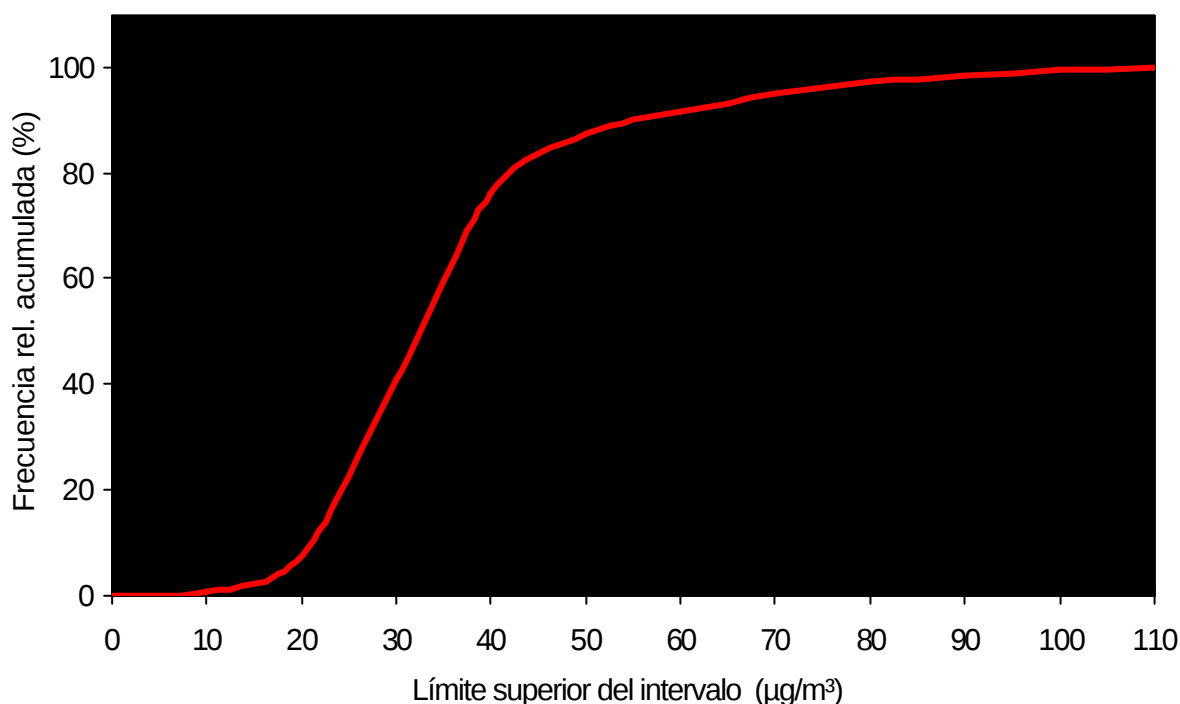


Figura 1. Frecuencia relativa porcentual acumulada de concentraciones medias horarias máximas de NO_2 en aire a nivel del suelo calculadas para el año 1994

En la Figura 2 se presenta el número de casos de ocurrencia en los que $C_{\text{máx}} > C_R$ distribuidos por direcciones hacia donde es transportada la pluma de contaminantes. Las ocurrencias de estas situaciones corresponden a las siguientes direcciones: 20° , 30° , 50° , 70° , 90° , 110° , 140° , 160° , 180° , 200° , 230° , 250° , 270° , 290° , 320° , 340° y 360° . Esto significa que sólo en estas 17 direcciones habría que ubicar muestreadores para detectar el total de los casos en que $C_{\text{máx}}$ (período de promedio: 1 hora) $> C_R$. El mayor número de casos se localiza en la dirección: 20° , con 42 y el menor, con 2 casos, ocurre en las direcciones 250° y 290° . En la Tabla I se incluyen las direcciones ordenadas según el

número de casos ocurridos en que $C_{\text{máx}} > C_R$ y las frecuencias relativas porcentuales acumuladas de estos casos para cada dirección.

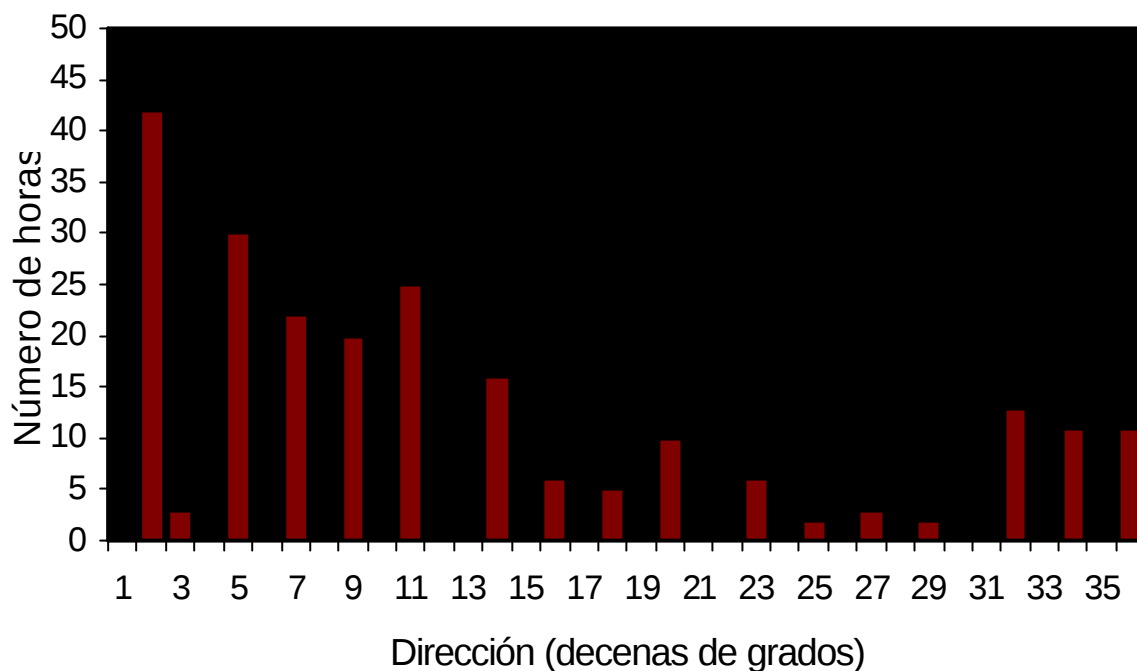


Figura 2. Número de casos en los que $C_{\text{máx}} > C_R$, según la dirección hacia donde son transportados los contaminantes durante 1994

Tabla I. Parámetros obtenidos del análisis de los casos con $C_{\text{máx}} > C_R$, estimados para 1994.

Lugar N°	Dirección (grados)	Frecuencia relativa acumulada (%)	X_1 (m)	X_2 (m)	D_x (m)	D_y (m)	Area (m ²)
1	20	18.5	3200	3700	500	41	16020
2	50	31.7	3200	3850	650	56	28577
3	110	42.7	2800	4150	1350	110	116725
4	70	52.4	3050	3850	800	61	38044
5	90	61.2	2800	4050	1250	105	103445
6	140	68.3	2700	4300	1600	127	159743
7	320	74.0	2950	4000	1050	79	65462
8	360	78.9	2900	4050	1150	89	80378
9	340	83.7	2500	4850	2350	176	325465
10	200	88.1	2950	4150	1200	99	93603
11	160	90.8	2600	4400	1800	139	197149
12	230	93.4	2650	4750	2100	162	267314
13	180	95.6	2600	4650	2050	149	240515
14	30	96.9	2600	4650	2050	154	247865
15	270	98.2	2400	4650	2250	173	305643
16	250	99.1	2550	4500	1950	146	224276
17	290	100.0	2500	4550	2050	157	252363

En la Figura 3 se presenta el rango de valores de $C_{m\acute{a}x} > C_R$, para cada direcci3n hacia la que es transportada la pluma de contaminantes. El mayor rango de $C_{m\acute{a}x} > C_R$ corresponde a la direcci3n 20°, con (106.0-80.0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el menor a la direcci3n 250° con (85.8-84.0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

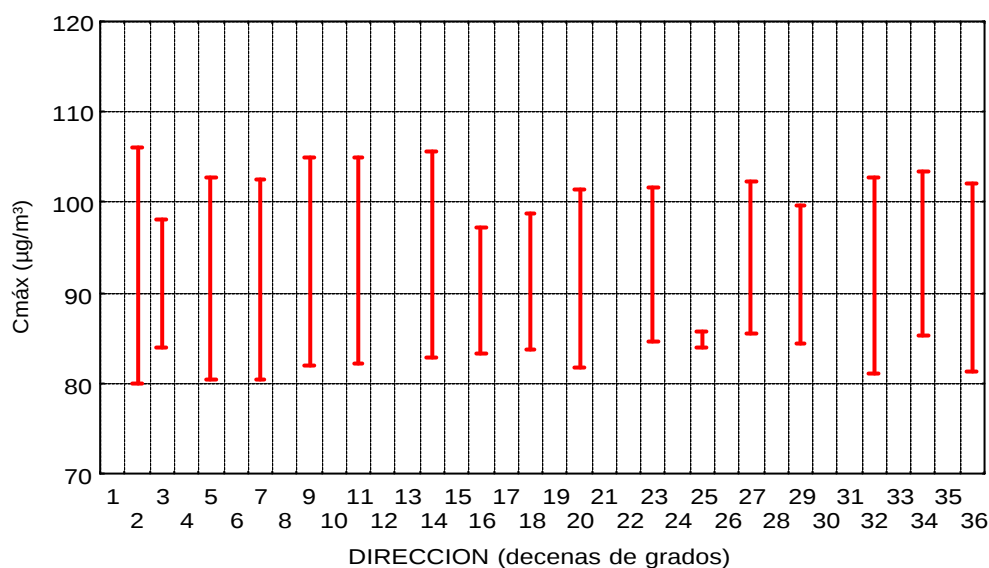


Figura 3. Rango de valores de $C_{m\acute{a}x} > C_R$ para cada direcci3n hacia donde son transportados los contaminantes

La Figura 4 presenta los rangos de valores de $X_{m\acute{a}x}$ en los que ocurren casos en que $C_{m\acute{a}x} > C_R$. Se encuentra que, las $C_{m\acute{a}x}$ se presentan a distancias de la fuente de emisi3n comprendidas entre 3300m y 4200m. El mayor rango corresponde a la direcci3n 20° (entre 3350m y 4200m) y a las direcciones 50°, 110°, 270° y 290° (entre 3300m y 4150m) y el menor a la direcci3n 250° (entre 3300m y 3400m).

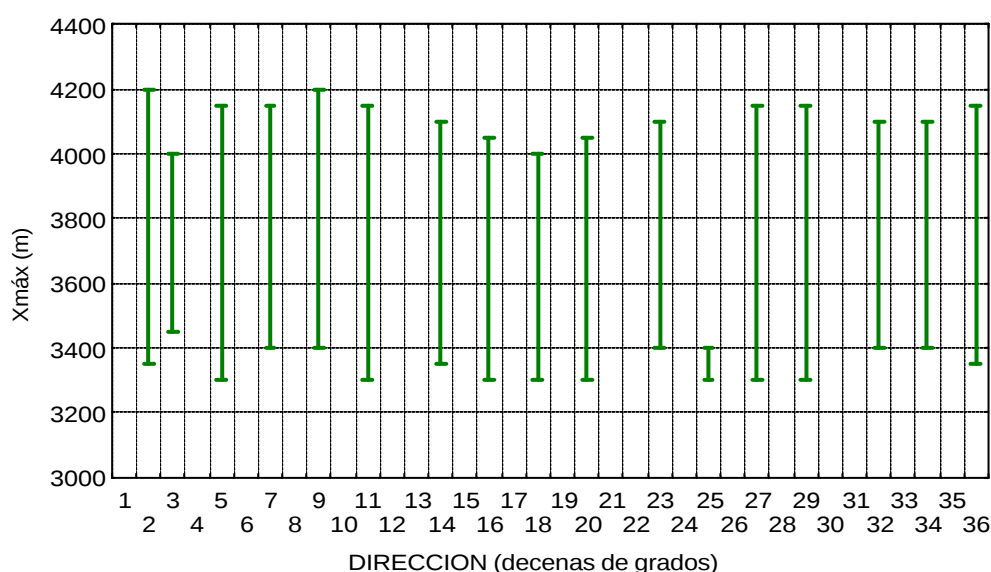


Figura 4. Rango de valores de $X_{m\acute{a}x}$ para cada direcci3n hacia donde son transportados los contaminantes.

Aunque los resultados presentados en la Figura 4 determinan un rango aproximado de distancias de ubicación de los muestreadores, no garantizan que en cualquier posición dentro de las distancias obtenidas se detecte que la concentración (C) sea mayor que la concentración de referencia ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$). En los diagramas incluidos en la Figura 5 se esquematizan las dos situaciones encontradas en este trabajo en las que, si el muestreador se ubicara en la zona 1 ó en la zona 3 se detectaría sólo uno de los dos casos, mientras que si se ubicase en la zona 2 se determinarían las dos ocasiones en que la concentración supera el valor de referencia ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$).

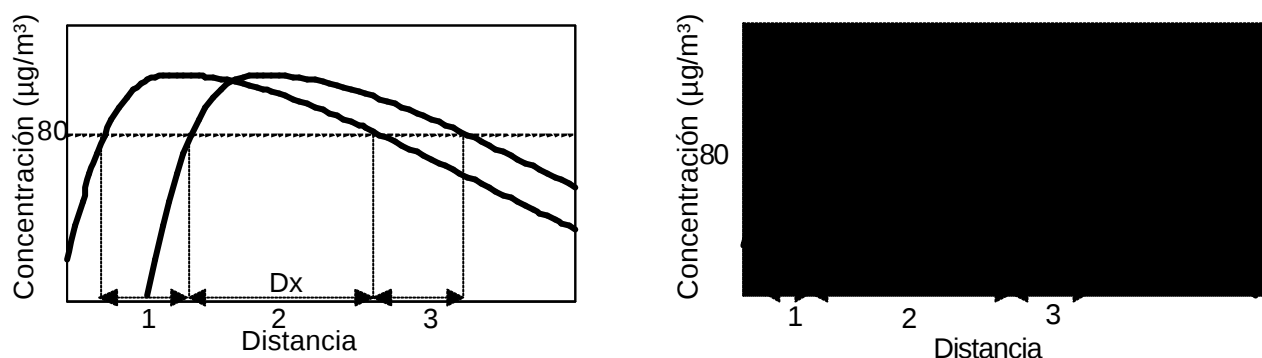


Figura 5. Esquema de las dos situaciones típicas de distribución de contaminantes a nivel del suelo con la distancia presentes en el ejemplo considerado.

A continuación, se procedió a determinar, para cada dirección, los ejes mayor (Dx) y menor (Dy) de la elipse, su ubicación y el valor del área de la misma, que garantizarán que la concentración en cualquiera de los puntos ubicados dentro de la misma sea mayor que $80\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los resultados obtenidos también se presentan en la Tabla I. La menor dimensión longitudinal (Dx) se presenta en la dirección 20° con 500m y la mayor en la dirección 340° con 2350m. También, para estas direcciones corresponden la menor dimensión transversal ($Dy=41\text{m}$) y en consecuencia la menor área de cobertura ($A=16020\text{ m}^2$) y las mayores dimensión transversal ($Dy=176\text{m}$) y área ($A=325465\text{ m}^2$), respectivamente.

Con el objeto de evaluar la eficiencia del funcionamiento de una red diseñada a partir de los resultados obtenidos anteriormente, se proponen cinco posibles ubicaciones (Red1, Red2, Red3, Red4, Red5) de cada muestreador para cada una de las 17 direcciones seleccionadas: cerca de cada uno de los extremos (Red1, Red5), en el centro (Red3) del segmento Dx y en distancias intermedias (Red2, Red4) entre las anteriores.

Se aplicó el modelo ISCST3 a las emisiones de la chimenea considerada con datos meteorológicos horarios pertenecientes a la misma estación meteorológica correspondientes al año 1995. En la Tabla II se presentan las ubicaciones de los muestreadores por dirección y el porcentaje (%) de detección para la totalidad de casos con $C_{\text{máx}} > C_R$ correspondiente a cada dirección. En la Tabla III se incluye la frecuencia total de detección de situaciones con $C_{\text{máx}} > C_R$ de cada Red de muestreadores según su ubicación. En la Figura 6 se encuentran graficadas las curvas de frecuencias relativas porcentuales acumuladas de ocurrencia de casos con $C_{\text{máx}} > C_R$ ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondientes a 1995, para cada muestreador numerado de acuerdo con el sistema utilizado para 1994, ubicado en los cinco esquemas propuestos de redes de monitoreo, conjuntamente con la curva de frecuencias relativas porcentuales acumuladas obtenida para 1994 (ver Tabla I).

La mejor ubicación de los muestreadores corresponde a Red3, que propone la ubicación de los muestreadores en el centro del área presentada en la Tabla I, con un error máximo de 4.6 % respecto de los resultados obtenidos para 1994, que ocurriría cuando se operan 14 monitores.

Tabla II. Ubicación [X(m)] y desempeño (%) de cada sensor de las redes propuestas durante 1995.

Lugar N°	Dirección (grados)	Red 1		Red 2		Red 3		Red 4		Red 5	
		X (m)	(%)	X(m)	(%)	X(m)	(%)	X(m)	(%)	X(m)	(%)
1	20	3250	100	3350	100	3450	100	3550	100	3650	100
2	50	3250	100	3400	100	3550	100	3700	100	3800	100
3	110	2850	89	3200	100	3500	100	3800	100	4100	93
4	70	3000	90	3200	100	3450	100	3600	100	3800	90
5	90	2850	94	3150	97	3450	100	3700	100	4000	97
6	140	2800	89	3150	95	3500	100	3850	95	4200	89
7	320	3000	100	3250	100	3500	100	3700	100	3950	100
8	360	2950	93	3250	100	3500	100	3750	93	4000	86
9	340	2600	100	3150	100	3700	100	4200	100	4750	83
10	200	2900	100	3200	100	3550	100	3850	100	4100	100
11	160	2700	100	3100	100	3500	100	3900	100	4300	75
12	230	2750	100	3250	100	3700	100	4150	100	4650	100
13	180	2700	100	3100	100	3650	100	4100	100	4550	100
14	30	2700	100	3150	100	3600	100	4100	100	4550	100
15	270	2500	50	3100	100	3550	100	4050	100	4550	75
16	250	2650	75	3100	100	3500	100	3950	100	4400	75
17	290	2600	67	3100	100	3550	100	4000	100	4450	100

Tabla III. Frecuencia total de detección de situaciones con $C_{m\acute{a}x} > C_R$ de cada Red propuesta como medida del desempeño de las mismas durante 1995.

	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4	Red 5
Desempeño	92.0%	97.6%	98.4%	97.6%	92.8%

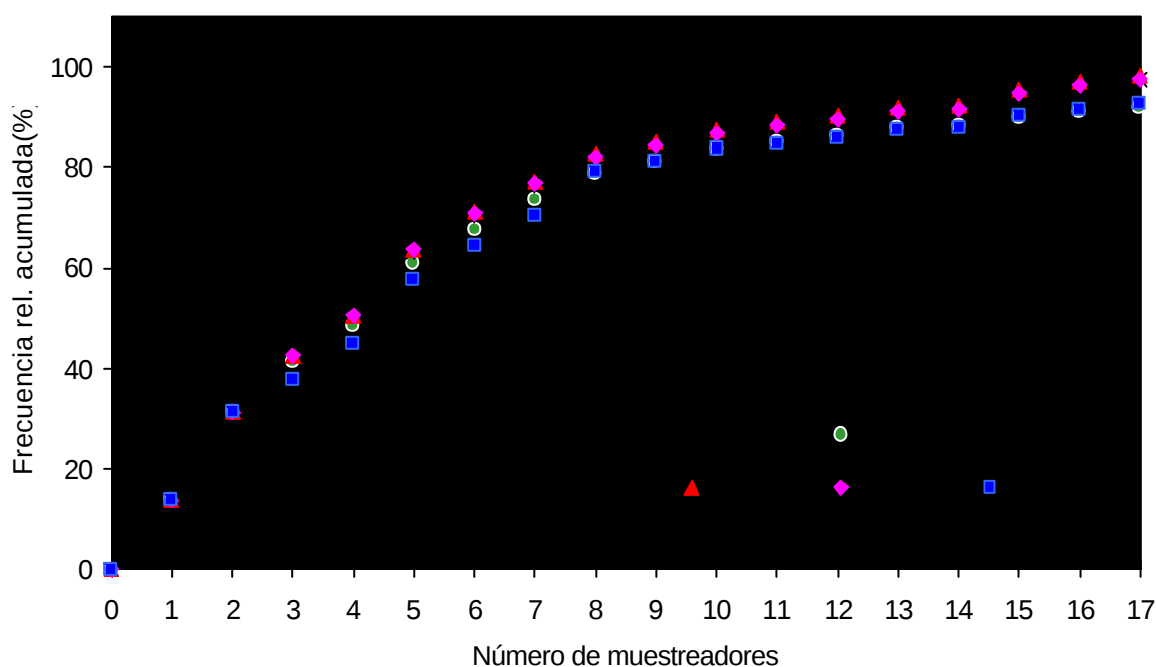


Figura 6. Frecuencia relativa porcentual acumulada de detección de situaciones con $C_{m\acute{a}x} > C_R$ de cada Red propuesta como medida del desempeño de las mismas durante 1995

2.2. Aplicación del procedimiento a las emisiones de dióxido de nitrógeno de la Central Termoeléctrica Puerto

La Central Puerto está constituida por las Centrales Puerto Nuevo y Nuevo Puerto y está ubicada en la Ciudad de Buenos Aires a orillas del Río de la Plata. Prácticamente, durante todo el año las dos Centrales consumen como combustible gas natural. Sólo en los días en que la temperatura del aire ambiente es muy baja utilizan combustibles líquidos. Durante su funcionamiento son emitidos contaminantes desde seis chimeneas con diferentes características físicas y de emisión..

El esquema de emisiones de dióxido de nitrógeno utilizado fue suministrado por la Central, que posee instrumental de medición continua de la concentración de ese contaminante en cada chimenea. Se utilizó la información horaria correspondiente al período 1 de setiembre de 1995 - 20 de febrero de 1997. Los datos meteorológicos utilizados corresponden a la información horaria de este período correspondiente a la estación meteorológica Aeropuerto Buenos Aires Aero.

Los cálculos de las concentraciones medias (período de promedio: 20 minutos) de dióxido de nitrógeno en aire a nivel del suelo fueron efectuados utilizando el modelo ISCST3 para cada receptor ubicado en relación a un sistema de coordenadas polares para radios comprendidos entre 100m y 6000m de distancia de la chimenea 06, con un paso de 50m y para direcciones con paso de 10°. El punto central del sistema fue ubicado en la chimenea 06. Se consideró un período de promedio corto (20 minutos) de acuerdo con los períodos de tiempo incluidos en la Ordenanza N° 39025/83 de la Municipalidad (hoy Gobierno Autónomo) de la Ciudad de Buenos Aires. El límite máximo admisible (período de promedio: 20 minutos) establecido por esa Ordenanza para el dióxido de nitrógeno es $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 7 se presentan las frecuencias relativas porcentuales acumuladas de ocurrencia de casos por rangos de concentraciones medias (período de tiempo: 20 minutos) máximas de dióxido de nitrógeno en aire a nivel del suelo calculadas por el modelo para el período de tiempo comprendido entre el 1 de setiembre de 1995 y el 20 de febrero de 1997. En dicha Figura se presentan los casos en los que la concentración media (período de tiempo: 20 minutos) máxima fue superior a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El ancho del intervalo de concentraciones utilizado fue $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No fueron incluidos en esta Figura aquellos casos en que la pluma de contaminantes emitidos desde las chimeneas de la Central fue transportada hacia el Río de la Plata. De esta manera, sólo se consideran las direcciones de la pluma de contaminantes comprendidas entre 140° y 290°. La mayor concentración media máxima de NO_2 calculada fue $278.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayor velocidad de crecimiento de las frecuencia acumuladas se presenta entre $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una variación de aproximadamente el 75% de los casos.

Debido a que el límite máximo admisible de calidad del aire (período de tiempo: 20 minutos) para el dióxido de nitrógeno es $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y a que el mayor valor de la concentración media máxima calculada a nivel del suelo fue $278.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y con el objeto de que los muestreadores a instalar puedan detectar valores de concentración que se presenten durante una cantidad significativa de veces se determinó que la concentración de referencia (C_R) sea: $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 8 se presentan las direcciones en las cuales la pluma de contaminantes es transportada hacia el área urbana. Para cada una de esas direcciones (paso 10°) se obtiene el número de casos en que la $C_{\text{máx}}$ (período de promedio: 20 minutos) $> C_R$.

La cantidad total de casos es 139. Se encuentra que las direcciones 290° con 34 casos, 270° con 21 y 160° con 20 ocurrencias son las que experimentan los mayores números absolutos individuales de casos. Las direcciones 130°, 210°, 220°, 240°, 280°, 300° y 310° no presentan casos en que $C_{\text{máx}}$ (período de tiempo: 20 minutos) $> C_R$.

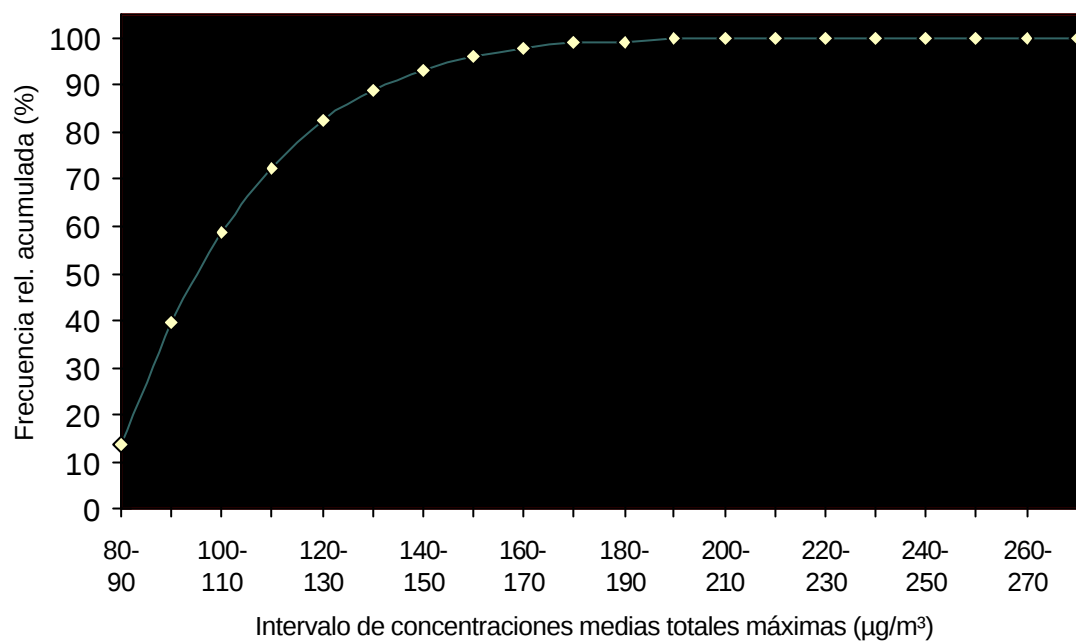


Figura 7. Frecuencia relativa porcentual acumulada por rangos de concentración media (período de promedio: 20 minutos) máximas.

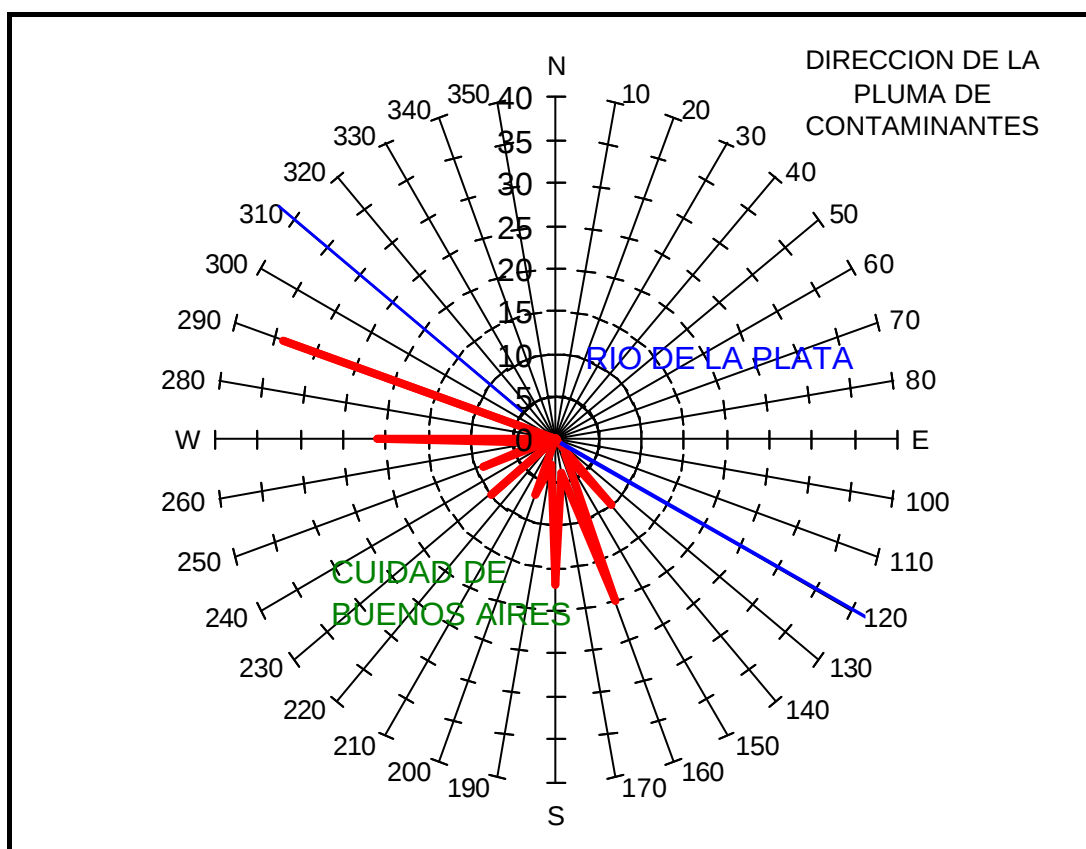


Figura 8. Distribución del número de casos (N) con $C_{\text{máx}} > C_R$, con la dirección de la pluma de contaminantes

En la Figura 9 se presenta la distribución horizontal por direcciones de la pluma de contaminantes y por distancia radial a la chimenea 06 de los 139 casos. En esta Figura algunas distancias a las que ocurren las $C_{m\acute{a}x}$ son coincidentes. También, es posible observar que en algunos casos las distancias a las que ocurren las máximas concentraciones de dióxido de nitrógeno se presentan en el agua del Río de la Plata.

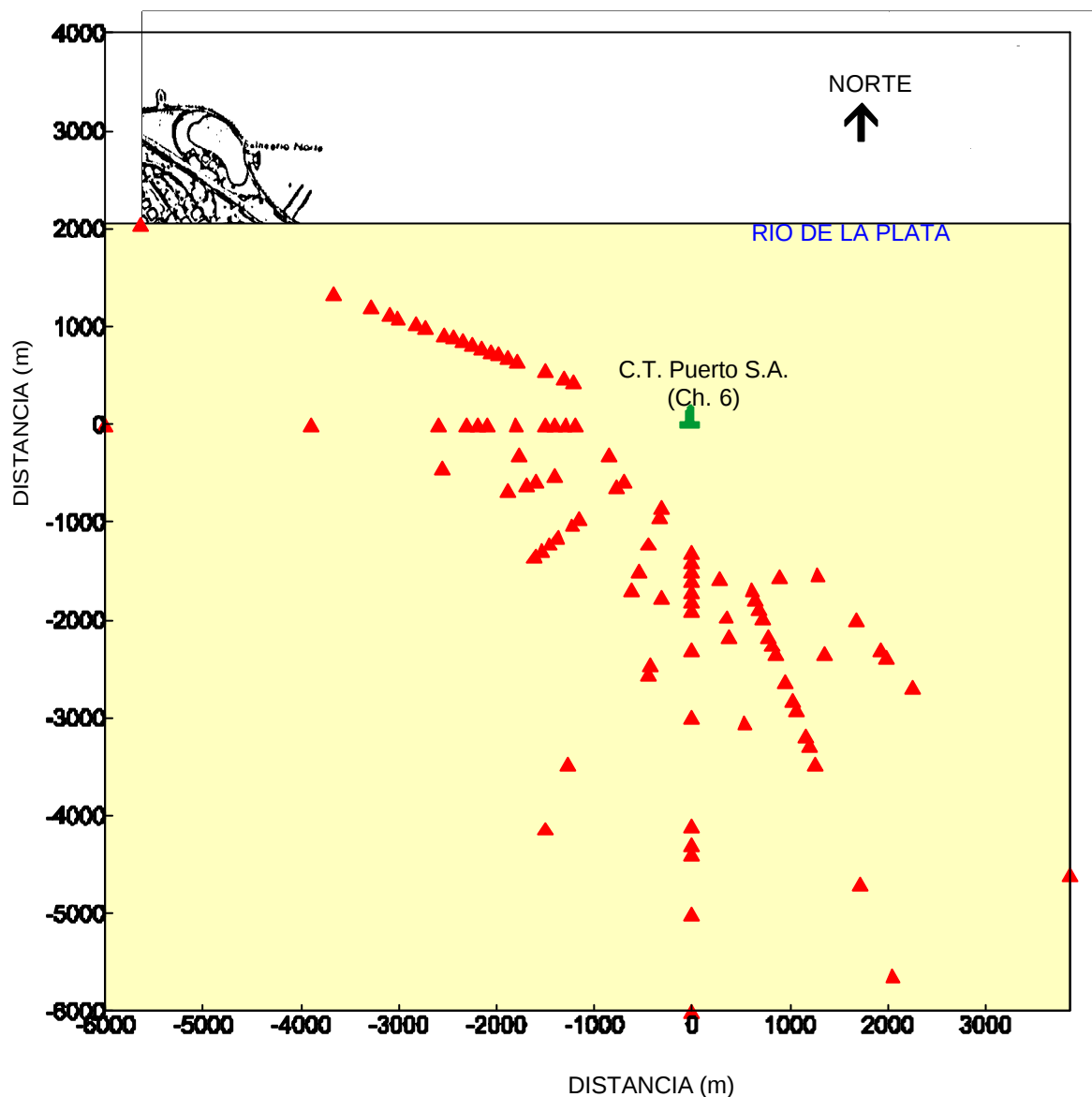


Figura 9. Distribución horizontal por direcciones de la pluma de contaminantes de la posición respecto de la Chimenea 6 (Ch. 6) en que $C_{m\acute{a}x} > C_R$.

Debido a que las emisiones de dióxido de nitrógeno provienen de diferentes chimeneas de la Central Puerto, distantes entre sí no es posible que puedan ser consideradas instaladas en un mismo punto. Debido a ello, fue necesario analizar los campos horizontales de concentración de dióxido de nitrógeno en aire a nivel del suelo para cada dirección superponiéndolos individualmente. Debido a ello fue necesario aplicar una adaptación de la metodología presentada en el punto 2.1.

En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan, como ejemplo, las isopletras de concentración de dióxido de nitrógeno en aire a nivel del suelo para las direcciones de la pluma 290° , 270° y 160° , donde la superposición de las isopletras extremas de $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abarcó un área común.

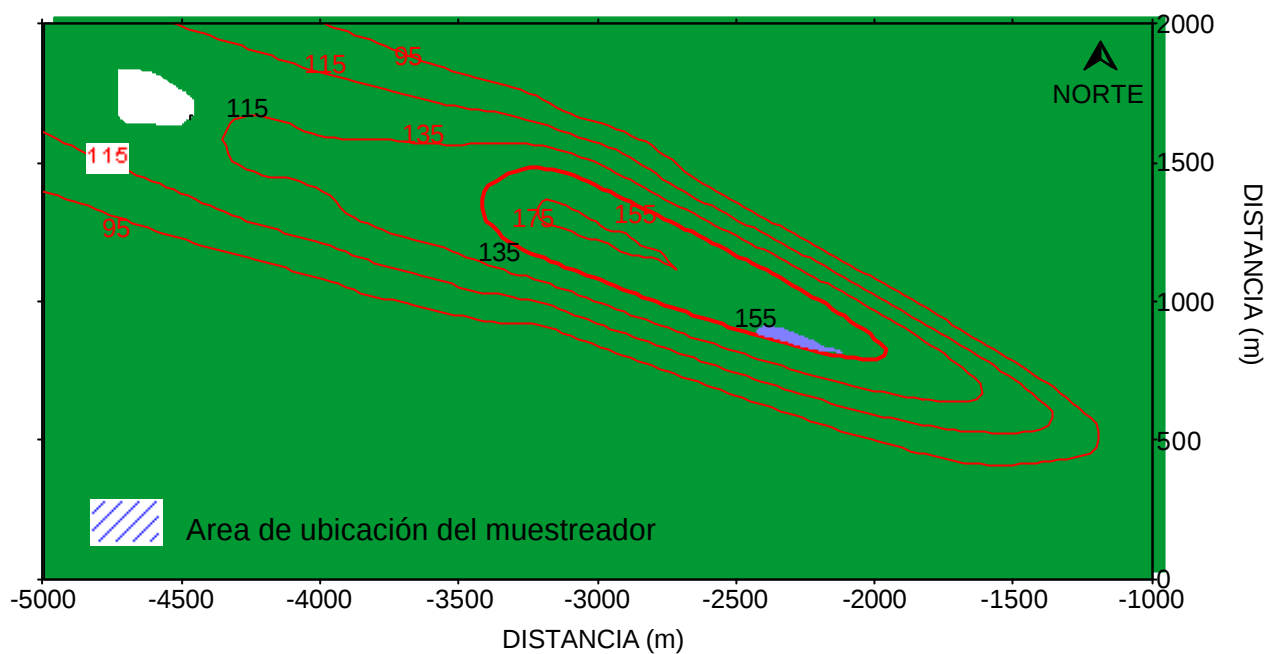


Figura 10. Isopletas de concentración de NO_2 en aire a nivel del suelo, para la dirección 290° . El área sombreada muestra la zona de posible ubicación del muestreador.

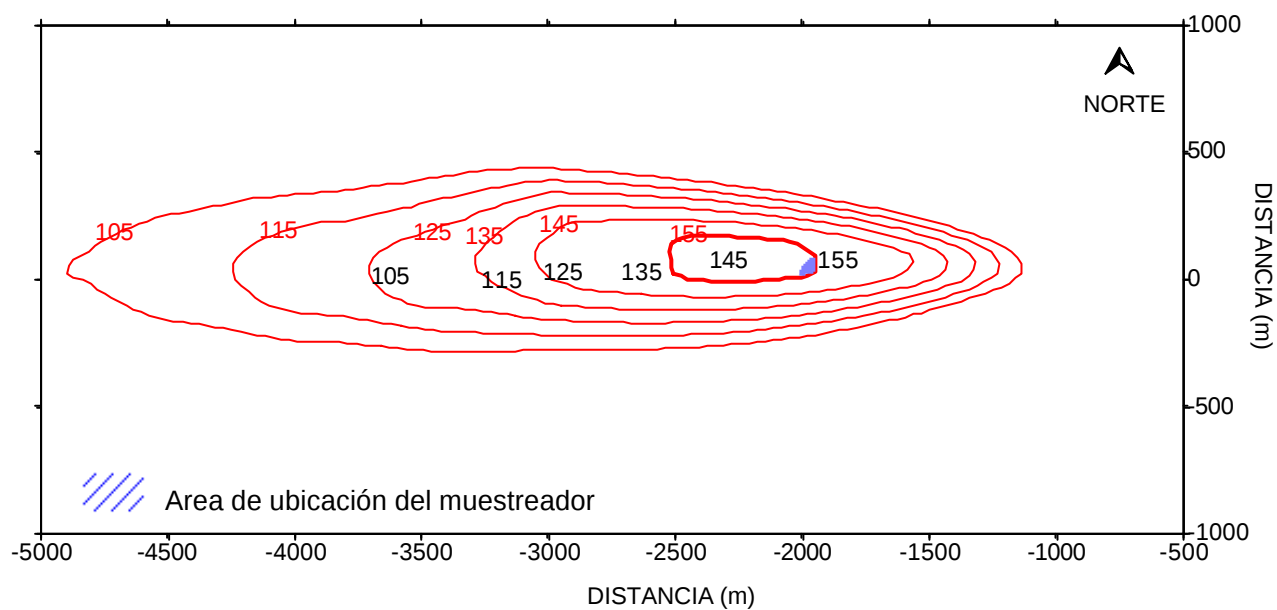


Figura 11. Isopletas de concentración de NO_2 en aire a nivel del suelo, para la dirección 270° . El área sombreada muestra la zona de posible ubicación del muestreador.

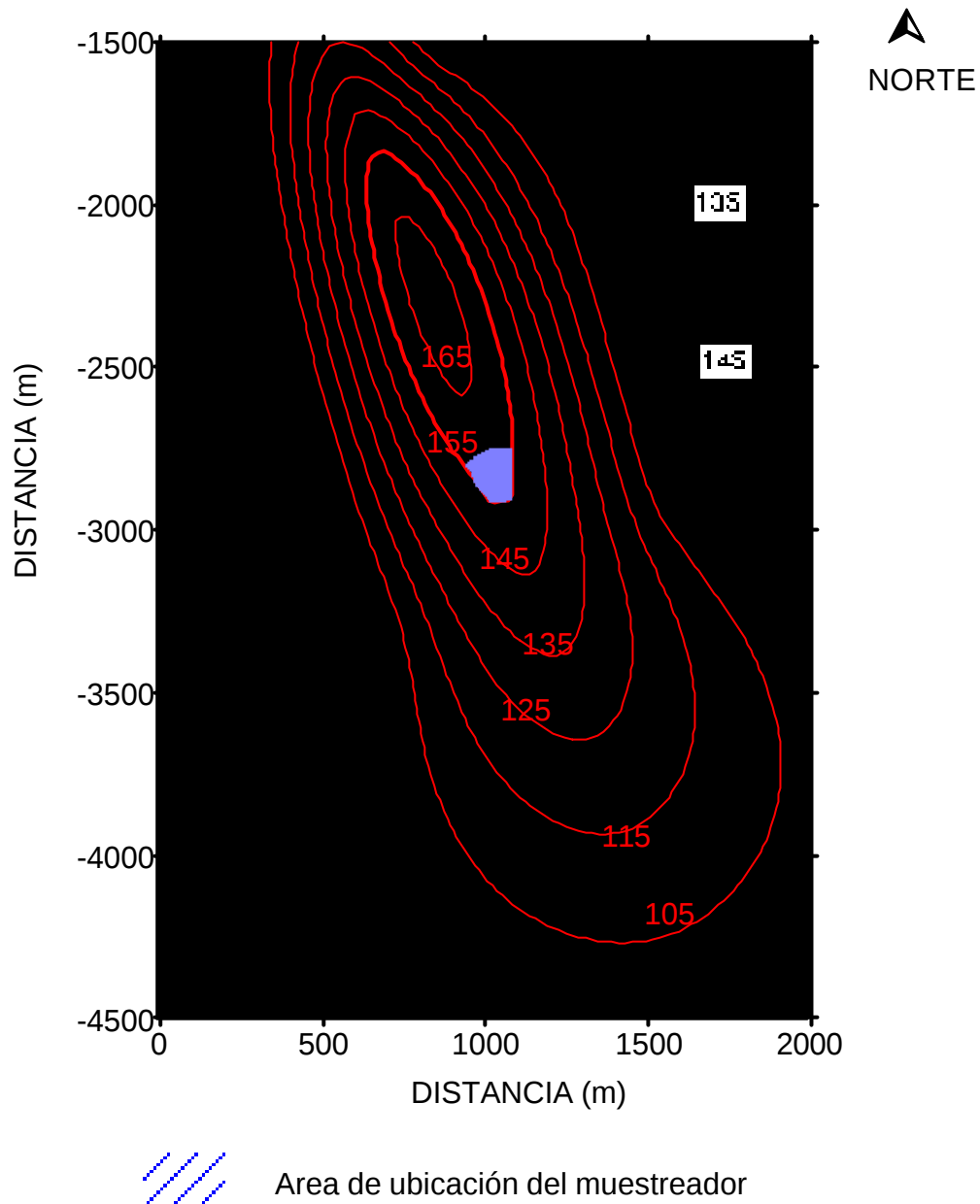


Figura 12. Isopletas de concentración de NO₂ en aire a nivel del suelo, para la dirección 160°. El área sombreada muestra la zona de posible ubicación del muestreador.

En la Tabla IV se presentan por dirección el número de casos “detectables” y su porcentaje acumulado respecto del total de casos que se pudo obtener mediante el modelo $C_{m\acute{a}x}$ (período de promedio: 20 minutos) $> C_R$.

Tabla IV. Número de casos “detectables” por dirección del flujo del aire y su porcentaje acumulado respecto del total de casos (139) con $C_{\text{máx}} > C_R$

Dirección del flujo del aire hacia la ciudad	Número de casos	Número de casos detectables con 1 muestreador por dirección	Porcentaje del total (%)	Porcentaje del total acumulado (%)
290	32	26	20.0	20.0
270	21	17	13.1	33.1
160	20	14	10.8	43.9
180	17	12	9.2	53.1
250	9	7	5.4	58.5
230	10	6	4.6	63.1
200	7	4	3.1	66.2
170	4	3	2.3	68.5
140	3	2	1.5	70.0
150	2	2	1.5	71.5
190	3	2	1.5	73.0
260	2	2	1.5	74.5
130	0	0	0.0	74.5
210	0	0	0.0	74.5
220	0	0	0.0	74.5
240	0	0	0.0	74.5
280	0	0	0.0	74.5
300	0	0	0.0	74.5
310	0	0	0.0	74.5
TOTAL:	130	97	74.5	

La ubicación de los muestreadores que se incluyen en la Tabla IV se presenta en la Figura 13.

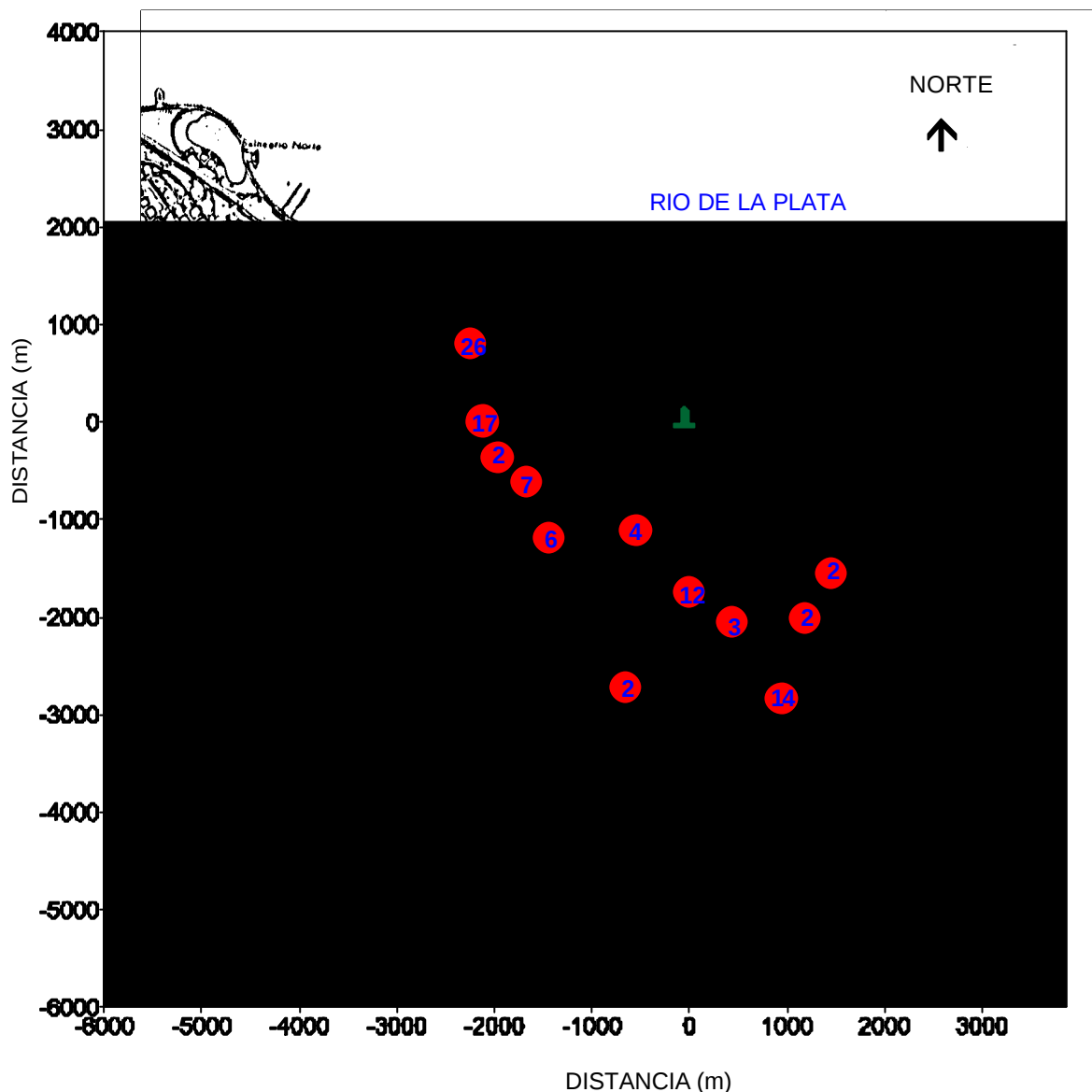


Figura 13. Posición de los muestreadores que se presentan en la Tabla IV y número de casos “detectables” por cada uno de ellos.

3. CONCLUSIONES

Se presenta un método objetivo de diseño de una red de monitoreo de calidad del aire para fuentes puntuales fijas. Este procedimiento puede ser resumido de la siguiente manera:

- Se aplica un modelo de difusión atmosférica (por ejemplo, ISCST3) a un año de información meteorológica horaria y a las emisiones de NO_2 ,
- se determinan, para cada dirección de la pluma todos los casos en que $C_{\text{máx}} > C_R$ (valor de referencia), sus frecuencias de ocurrencia y las distancias para cada situación en que la concentración media horaria supera C_R ,
- por superposición de los segmentos longitudinal y transversal en que los valores de la distribución horizontal de la concentración media horaria de NO_2 en aire a nivel del suelo supera C_R , en cada situación y para cada dirección de la pluma, se obtienen los ejes mayor y menor de la elipse dentro de la cual $C > C_R$

La simulación del funcionamiento de la red propuesta con otro año de información meteorológica horaria permitió determinar que existe una satisfactoria reproducibilidad de la metodología encontrada, con un error inferior al 4.6%.

Esta metodología fue aplicada al diseño de una red de monitoreo de concentraciones en aire a nivel del suelo de NO₂ emitido desde las chimeneas de la Central Termoeléctrica Puerto en funcionamiento en la Ciudad de Buenos Aires. De acuerdo con la misma, fue posible establecer una red de muestreo, con un muestreador por cada dirección en que se pueda detectar C_{máx} (período de muestreo: 20 minutos) > C_R.

El número total de muestreadores a instalar sería 12 y se ubicarían uno por cada dirección, pudiendo detectar el 74.5% de los casos. Este porcentaje podría ser mayor si se decidiera instalar más de un muestreador en algunas direcciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos: un muestreador instalado en la dirección 290° permitiría detectar el 20.0% de los casos, otro ubicado en la dirección 270° detectaría el 13.1% y un tercer monitor en la dirección 160° podría detectar el 10.8%. Por lo tanto, con tres muestreadores se podría detectar el 43.9% de los casos.

Este trabajo se realizó con el apoyo del Subsidio: Estudio de la Atmósfera de la Ciudad de Buenos Aires de la Universidad de Buenos Aires y del CONICET

REFERENCIAS

- Haas, T.C., 1992. Redesigning continental-scale monitoring networks, *Atmos. Environ.*, Vol. 26, 3323-3333.
- Langstaff, J., Seigneur, C., Liu, M.K., Behar, J. and McElroy, J.L., 1987. Design of an Optimum Air Monitoring Network for Exposure Assessments, *Atmos. Environ.*, Vol. 21, 1393-1410.
- Mazzeo, N.A.; Nicolini, M. y Moledo, L. 1972. Método selectivo de zonas destinadas a la ubicación de estaciones de muestreo de contaminantes atmosféricos y meteorológicos en el área de La Plata (Prov. de Buenos Aires). *Acta Científica*, 33, Obs. Nac. de Física Cósmica.
- Mazzeo, N.A. y Venegas, L.E. 1998. Diseño de una red de monitoreo de calidad del aire. *Gerencia Ambiental*, 46, 452-458.
- Mazzeo N.A. and Venegas L.E. 2000. Practical use of the ISCST3 model to select monitoring site locations for air pollution control. *Int. J. Environment and Pollution*. Vol. 14, 246-259.
- Munn, R.E., 1981. 'Design of Air Quality Monitoring Networks', Macmillan, London.
- Noll, K.E. and Mitsutomi, S., 1983. Design Methodology for Optimum Dosage Air Monitoring Site Selection, *Atmos. Environ.*, Vol. 17, 2583-2590.
- Noll, K.E., Miller, T.L., Norco, J.E., Raufer and R.K., 1977. An Objective Air Monitoring Site Selection Methodology for Large Point Sources, *Atmos. Environ.*, Vol. 11, 1051-1059.
- Oehlert, G. W., 1996. Shrinking a Wet Deposition Network, *Atmos. Environ.*, Vol. 30, 1347-1357.
- Seinfeld, J.H., 1972. Optimal location of Pollutant Monitoring Stations in an airshed, *Atmos. Environ.*, Vol. 6, 847-858.
- Turner D.B. 1964. A diffusion model for an urban area. *J. of Appl. Meteor.* 3, 83-91.
- USEPA. 1995. Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model User's Guide. EPA-454/B-959-003.
- Wu, H.W.Y. and Chan, L.Y., 1997. Comparative Study of Air Quality Surveillance Networks in Hong Kong, *Atmos. Environ.*, Vol. 31, 935-945.
- Wu, S. and Zidek, J.V., 1992. An entropy-based analysis of data from selected NADP/NTN network sites for 193-1986, *Atmos. Environ.*, Vol. 26, 2089-2103.
- Zilitinkevich, S.S. and Mirinov, D.V. 1996. A multi-limit formulation for the equilibrium depth of a stably stratified boundary layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, 81, 325-351.