

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A LA EMANACION DE EFLUENTES GASEOSOS DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS

L.E. Dawidowski, D.R. Gómez, S.L. Reich^(a)

Departamento Fuentes Renovables y Uso Racional de la Energía
Comisión Nacional de Energía Atómica
Avda. del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires

RESUMEN

Como parte del Programa de medición de gases y material particulado emitido por centrales termoeléctricas, en el marco del Acuerdo de Cooperación Técnica de la Secretaría de Energía - Comisión Nacional de Energía Atómica [1], se evaluaron mediante un modelo de difusión de contaminantes en atmósfera las concentraciones - a nivel suelo - de dióxido de Azufre (SO_2), óxidos de Nitrógeno (NO_x) y material particulado asociadas a la emisión de las tres centrales candidatas para el estudio: Nuevo Puerto, Luján de Cuyo y San Nicolás.

Se presentan las mediciones realizadas en sitios cercanos a las centrales mencionadas, se discute la importancia de dichas fuentes contaminantes en la contaminación global observada y se presenta a modo de ejemplo un mapa de distribución de concentraciones.

INTRODUCCION

La generación de energía por combustión fósil, trae como inevitable consecuencia la liberación de los gases residuales al medio ambiente a través de conductos o de chimeneas. Estos gases comprenden compuestos de azufre, nitrógeno y diversos tipos de material particulado en suspensión cuyos efectos contaminantes son bien conocidos.

Para evaluar el aporte de cada fuente de contaminación en una determinada región, es imprescindible modelar el proceso de dispersión de los contaminantes a partir de la salida de la chimenea para complementar los datos obtenidos en las estaciones de muestreo.

a. Departamento de Física. Comisión de Energía Atómica

MODELO DE DISPERSION DE CONTAMINANTES UTILIZADO

La concentración de contaminantes, a distintas distancias de la fuente emisora, puede modelarse mediante técnicas de difusión en atmósfera (ver Apéndice 1). Uno de los modelos más conocidos es el llamado ISC (Industrial Source Complex) que es el standard de la agencia EPA (Environmental Protection Agency) de los EEUU utilizado en dicho país para evaluar los impactos provocados por las industrias en la calidad del aire ambiente [3].

El modelo ISC existe en dos versiones: de corto plazo ("short-term"), ISCST, y de largo plazo ("long-term"), ISCLT. Ambas versiones están basadas en el mismo tratamiento de los procesos atmosféricos pero difieren en el uso de los datos. La versión ISCLT usa frecuencias de condiciones meteorológicas en lugar de datos horarios en forma secuencial, por lo que resulta computacionalmente más eficiente para calcular valores anuales promedio. Como las mediciones en las centrales y sus alrededores se realizaron durante lapsos de tiempo cortos, corresponde en este caso utilizar la versión ISCST.

Los datos necesarios para el cálculo de la dispersión de contaminantes mediante el modelo ISC se pueden agrupar en:

- a) características de las fuentes de emisión
- b) topografía del terreno alrededor de cada fuente
- c) datos meteorológicos.

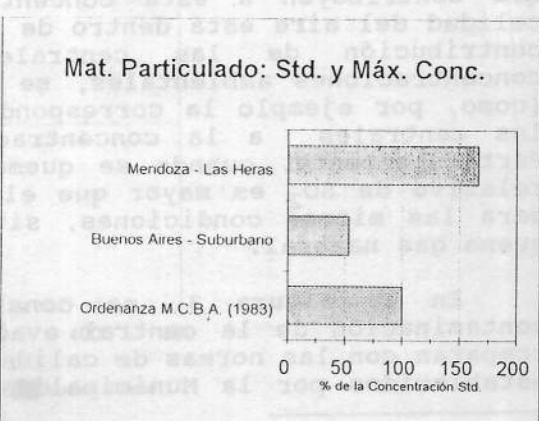
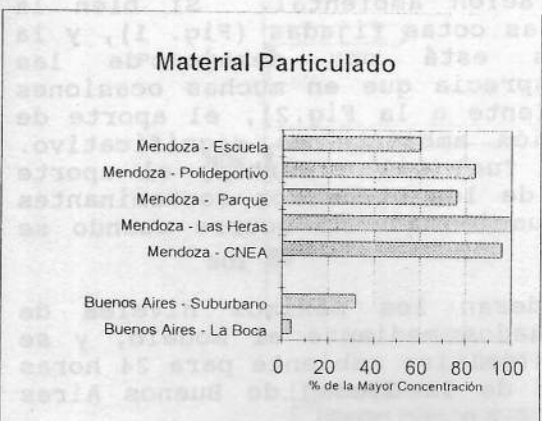
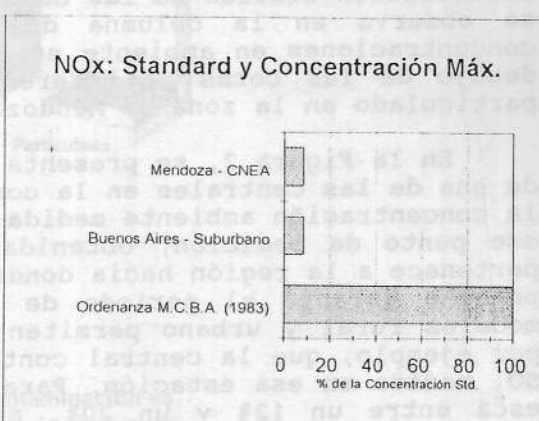
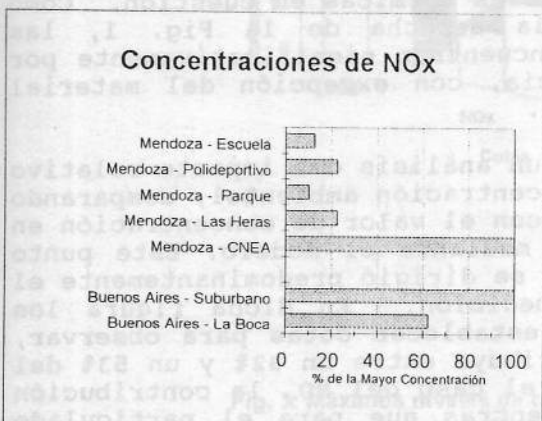
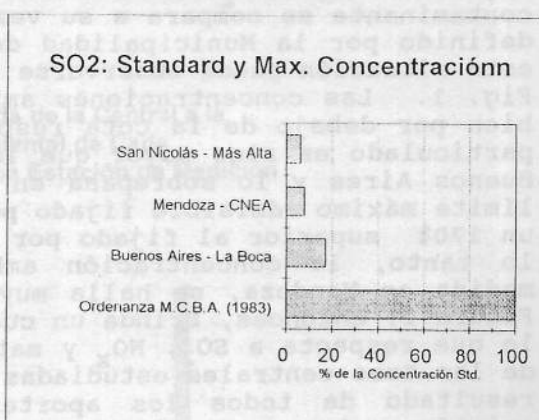
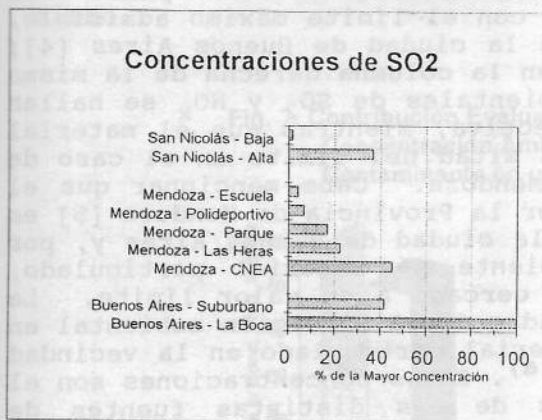
Además es posible elegir diversas opciones de modelización, como las dispersiones urbana o rural, que diferencian las rugosidades inherentes a los dos tipos de emplazamientos y brindan cotas - inferior y superior - para las máximas concentraciones esperables. Otra posibilidad es considerar diferentes períodos para promediar los resultados; en este caso se tomaron períodos de 24 horas ya que son compatibles con las mediciones ambientales realizadas, efectuadas a lo largo de alrededor de una semana por central.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El objetivo de esta presentación es dar una idea del tipo de análisis y resultados de una evaluación del impacto atmosférico originado por la combustión fósil, más que brindar un informe pormenorizado del estado de situación de las tres centrales. Este Programa de medición, el primero de este tipo realizado en el país, estuvo dirigido a la capacitación del personal en la medición de efluentes de chimenea y evaluación del impacto ambiental; en este marco de trabajo, no es dable esperar que los resultados obtenidos sean siempre representativos del impacto ambiental de la operación de rutina de las tres centrales.

La Figura 1 muestra el panorama general de las concentraciones ambientales medidas. Cada gráfico en la columna izquierda contiene concentraciones ambientales significativas de

FIGURA 1: CALIDAD DE AIRE AMBIENTE EN LA VECINDAD DE LAS CENTRALES



un contaminante, registradas en las estaciones de medición, referidas a la más alta de todas ellas. Para cada central, el registro de concentración ambiental más elevado para cada contaminante se compara a su vez con el límite máximo admisible, definido por la Municipalidad de la ciudad de Buenos Aires [4]; esta situación puede observarse en la columna derecha de la misma Fig. 1. Las concentraciones ambientales de SO_2 y NO_x se hallan bien por debajo de la cota respectiva, mientras que el material particulado es algo mayor que la mitad del límite en el caso de Buenos Aires y lo sobrepasa en Mendoza. Cabe mencionar que el límite máximo admisible fijado por la Provincia de Mendoza [5] es un 170% superior al fijado por la ciudad de Buenos Aires y, por lo tanto, la concentración ambiente de material particulado, medida en Mendoza, se halla muy cercana a su valor límite. La Figura 1, entonces, brinda un cuadro de la situación ambiental en lo que respecta a SO_2 , NO_x y material particulado en la vecindad de las tres centrales estudiadas (a). Estas concentraciones son el resultado de todos los aportes de las distintas fuentes de emisión en los respectivos puntos de medición y no discriminan la contribución aislada de las centrales térmicas en cuestión. Como se observa en la columna de la derecha de la Fig. 1, las concentraciones en ambiente se encuentran significativamente por debajo de las cotas de referencia, con excepción del material particulado en la zona de Mendoza.

En la Figura 2, se presenta un análisis del impacto relativo de una de las centrales en la concentración ambiental, comparando la concentración ambiente medida con el valor de concentración en ese punto de medición, obtenida mediante el modelo. Este punto pertenece a la región hacia donde se dirigió predominantemente el penacho durante el período de medición. En dicha figura los modelos rural y urbano permiten establecer cotas para observar, por ejemplo, que la central contribuye entre un 32% y un 53% del SO_2 medido en esa estación. Para el caso del NO_x la contribución está entre un 12% y un 20%, mientras que para el particulado entre el 1.5% y el 3%. Esto indica la presencia de otras fuentes que contribuyen a esta concentración ambiental. Si bien la calidad del aire está dentro de las cotas fijadas (Fig. 1), y la contribución de las centrales está por debajo de las concentraciones ambientales, se aprecia que en muchas ocasiones (como, por ejemplo la correspondiente a la Fig. 2), el aporte de las centrales a la concentración ambiente es significativo. Particularmente, cuando se quema fuel oil o carbón, el aporte relativo de SO_2 es mayor que el de los otros dos contaminantes para las mismas condiciones, situación que no ocurre cuando se quema gas natural.

En la Figura 3, se consideran los máximos niveles de contaminación de la central evaluados mediante el modelo, y se comparan con las normas de calidad de aire ambiente para 24 horas establecidos por la Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires

a. En San Nicolás sólo se midió la concentración de SO_2 .

[4]. De allí se observa que tanto para el caso del NO_x como el particulado los niveles están muy por debajo de los valores límites, mientras que para el caso del SO_2 llega al 40% del mismo.

Fig. 2: Contribución Evaluada de la Central a la Concentración Ambiental de Cada Contaminante en una Estación de Medición

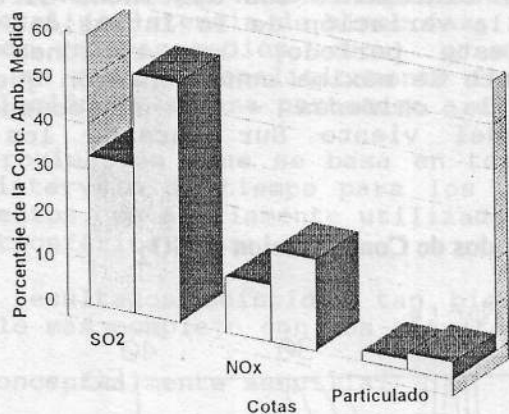
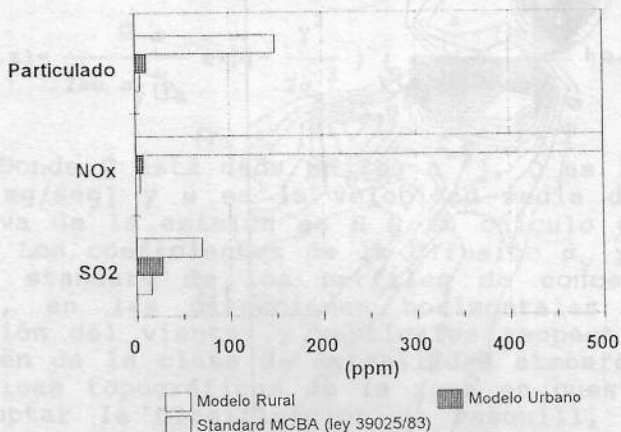
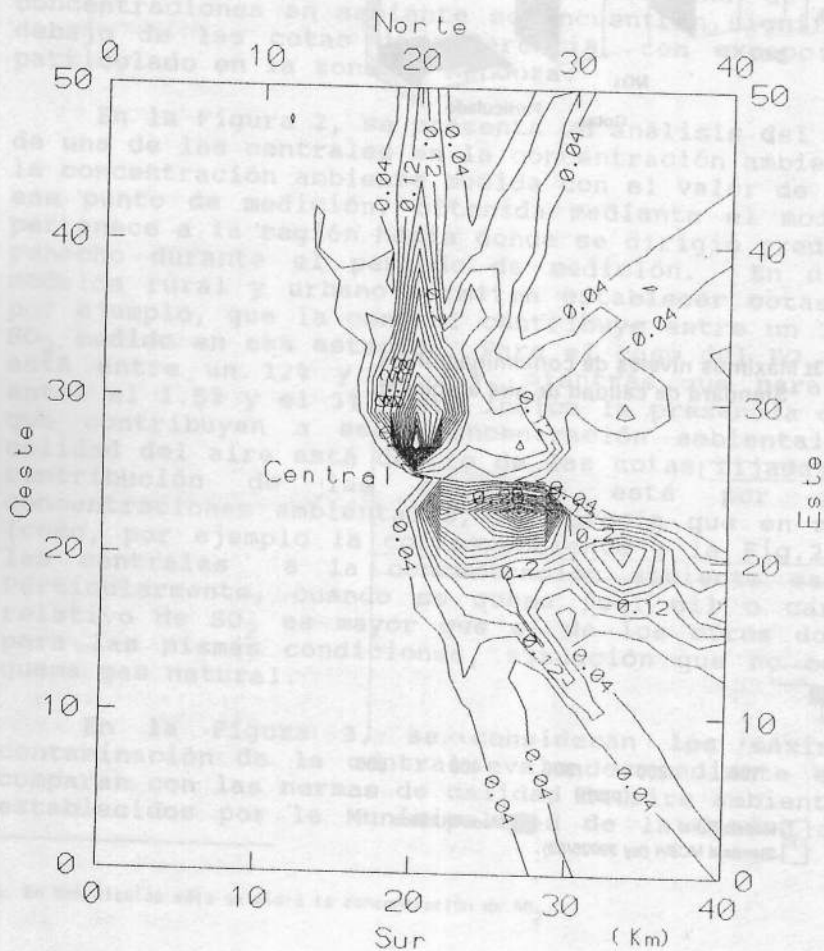


Fig. 3: Máximos niveles de contaminación vs Standard de calidad de aire ambiente.



Finalmente se muestra, en la Figura 4, un mapa de los niveles de inmisión de SO_2 correspondiente a tres días consecutivos de medición de una de las centrales. Las curvas de concentración, normalizadas en base a la máxima concentración de inmisión calculada, brindan una visión más detallada del proceso de dispersión. Vientos predominantes del Sur (en intensidad y frecuencia) fueron rotando hacia el Sur-Sur-Oeste durante el primer día, en el segundo día continuó la preponderancia de los vientos S y SSO para luego rotar al OSO, finalmente durante el tercer día predominaron los vientos del ONO y, en menor medida, los del NO. Se observan claramente las distintas direcciones del penacho en función de la variación de la intensidad y dirección del viento durante este período, las regiones de máxima concentración, y el punto de máxima concentración que se halla a 2,5 km al Norte de la chimenea - en consecuencia con la predominancia global del viento Sur durante los tres días considerados.

Fig.4: Niveles normalizados de Concentración de SO_2



La descripción matemática de la difusión y transporte de sustancias en la atmósfera puede encararse haciendo una descripción detallada del fenómeno de transporte turbulento en un medio fluctuante. Esto implica plantear la ecuación de difusión para cada elemento infinitesimal de volumen, haciendo estimaciones estadísticas para las diversas variables. Estas ecuaciones complejas no tienen en general solución analítica por lo cual se hace necesario recurrir a aproximaciones. Estas últimas pueden dividirse en aquellas que hacen simplificaciones numéricas de la ecuación general (existencia de simetrías, reemplazo de funciones aleatorias por valores medios, etc.) y aquellas aproximaciones que se basan en resolver analíticamente formas aproximadas de la misma. La solución gaussiana pertenece a esta última categoría.

Esta aproximación, que se basa en tomar valores constantes en un dado intervalo de tiempo para los coeficientes de transporte turbulentos, es ampliamente utilizada en la descripción del transporte atmosférico pues:

- a) sus resultados coinciden tan bien como cualquier otro modelo más complejo con los resultados experimentales.
- b) es conceptualmente sencilla.
- c) es consistente con la naturaleza aleatoria de la turbulencia, pues el tomar parámetros constantes es compatible con el hecho que las desviaciones de los mismos respecto a sus valores medios tienen varianza nula.
- d) permite incluir extensiones a casos más complejos.

La ecuación básica para la concentración C de un cierto contaminante en un punto de coordenadas x, y, z es:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

Donde C está dada en $[\text{mg m}^{-3}]$, Q es la intensidad de emisión $[\text{mg/seg}]$ y u es la velocidad media del viento. La altura efectiva de la emisión es H y su cálculo se detalla posteriormente. Los coeficientes de la difusión σ_y y σ_z , son las desviaciones standard de los perfiles de concentración de contaminantes, en las direcciones horizontales (perpendicular a la dirección del viento) y verticales respectivamente. Sus valores dependen de la clase de estabilidad atmosférica y de las características topográficas de la zona en cuestión. Existe consenso en adoptar la clasificación de Pasquill, que se resume en la tabla I.

Tabla I: Condiciones Meteorológicas y Clases de Estabilidad

Velocidad viento a 10m (m/seg)	Noche N=radiación neta (MW/cm ⁻²)			Día N=radiación solar global (MW/cm ⁻²)			
	-14<N<-4.2	-4.2<N<-2.1	-2.1<N<0	0<R<15	15<R<29	29<R<58	58<R<∞
0 < u < 2	F	F	D	D	B	A-B	A
2 < u < 3	F	E	D	D	C	B	A-B
3 < u < 4	E	D	D	D	C	B-C	B
4 < u < 6	D	D	D	D	D	C-D	C
6 < u < ∞	D	D	D	D	D	D	C

Los coeficientes difusivos σ_y y σ_z dependen de dichas clases de estabilidad. Además varían con la distancia en la dirección del viento, siguiendo con bastante precisión una ley exponencial del tipo:

$$\sigma_y = a_y x^{b_y} ; \quad \sigma_z = a_z x^{b_z} \quad (2)$$

Los parámetros a_x, a_y, b_x y b_y se pueden medir a partir de las fluctuaciones locales de las condiciones meteorológicas, o estimarse fenomenológicamente. Dependen además de si la difusión es a través de un medio rural o urbano. Sus valores pueden consultarse en la referencia [2], donde aparecen tabulados para cada clase de estabilidad y donde también se citan variaciones de dichas dependencias funcionales sugeridas por diversos autores.

FUENTE DE EMISION

Para este estudio de centrales termoeléctricas se ha considerado el caso de emisiones puntuales (asociadas a una chimenea por vez) y continuas.

Las características de la fuente se parametrizan por la cantidad de contaminantes de cada tipo emitidos por unidad de tiempo (el factor de emisión Q que aparece en la ecuación 1) y la altura efectiva H. Los valores de Q para emisiones de SO₂, NO_x y material particulado fueron medidos "in situ" tal como se describe en la referencia [1].

En la determinación del proceso difusivo, tal como se ha mencionado, es necesario evaluar la así llamada altura efectiva de la chimenea, que es la altura y la distancia horizontal hasta la cual sube y se desplaza el penacho por el efecto combinado del empuje térmico y el impulso mecánico debido a que los gases de la combustión se emiten a una temperatura mayor que la del medio ambiente y con una dada velocidad de emisión. De tal manera:

$$H_{\text{efectiva}} = H_{\text{chimenea}} + H_{\text{elevación}} \quad (3)$$

$$y \quad H_{\text{elevación}} = E x^b / u^a \quad (4)$$

Donde:

- E: depende de las energías térmica y cinética de la emisión
 x: es la distancia en la dirección del viento hasta la cual se desplaza el penacho, antes de difundirse.
 u: Velocidad promedio del viento a H_{chimenea}
 a, b: parámetros que dependen de la velocidad y temperatura de emisión, del diámetro de la chimenea y de la temperatura ambiente.

La siguiente tabla II, resume los parámetros modelizados por Briggs y recopilados en la referencia [2].

Tabla II: Resumen de modelos matemáticos de elevación de penacho con estructura $H_{\text{elevación}} = E x^b / u^a$

AUTOR	ESTABILIDAD ATMOSFERICA	a	b	E	CONDICION de VALIDEZ
ELEVACION TERMICA					
Briggs	Neutral	1	2/3	$1.6F^{1/3}$	$F < 55 ; x < 49F^{5/8}$
	o	1	0	$21.4F^{3/4}$	$F < 55 ; x > 49F^{5/8}$
	Inestable	1	2/3	$1.6F^{1/3}$	$F > 55 ; x < 119F^{2/5}$
		1	0	$38.7F^{3/5}$	$F > 55 ; x > 119F^{2/5}$
	Estable	1	2/3	$1.6F^{1/3}$	
ELEVACION CINETICA					
Asme	Todas	1.4	0	$dV_s^{1.4}$	$V_s > 10\text{m/seg} ; V_s > u$ y $\delta T < 50 \text{ } ^\circ\text{K}$
Briggs	Neutral	2/3	1/3	$1.44(dV_s)^{2/3}$	$V_s/u \geq 4$
		1	0	$3 dV_s$	$V_s/u < 4$

- d: diámetro de la chimenea en m
 F: flujo del empuje, $F = g d^2 V_s (T_s - T_a) / 4T_s$
 g: aceleración de la gravedad
 T_s : temperatura de emisión ($^\circ\text{K}$)
 T_a : temperatura ambiente ($^\circ\text{K}$)
 V_s : velocidad de emisión
 δT : $T_s - T_a$

REFERENCIAS:

- [1] H.Bajano, J.A.Moragues, A.Rapallini, C.Romero, "Medición de Emisiones de Gases y Material Particulado en Centrales Termoeléctricas y Contenido en Atmósfera", 16° Reunión de Trabajo de ASADES. 1993.
- [2] S. Cernuschi y M. Gugliano, "Air Quality Assessment in Environmental Impact Studies", en "Environmental Impact Assessment", A.G. Colombo (Ed.), Kluwer Academic Publishers, 1992, pp. 189-209.
- [3] C. Seigneur, "Understand the Basics of Air-Quality Modeling", Chem. Engng. Progress, Marzo 1992, pp. 68-74.
- [4] Ordenanza N° 39.025/88, Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires, Aprobatoria del Código de Prevención de la Contaminación Ambiental.
- [5] Decreto 2404/89, Provincia de Mendoza, Reglamentario de la Ley 5100/86 de Preservación de los Recursos del Aire.