

IMPACTO AMBIENTAL ATMOSFERICO: ANALISIS DE METODOS DE SONDEO

**Laura E. Venegas
Nicolás A. Mazzeo**

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Departamento de Ciencias de la Atmósfera.
Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. Univ. de Buenos Aires
Ciudad Universitaria. Pab.2 - 1428-Buenos Aires. Argentina
Fax. 4576-3364 (int.12)
venegas@at.fcen.uba.ar
mazzeo@at.fcen.uba.ar

**Palabras Claves: calidad del aire; métodos de sondeo;
modelos de dispersión atmosférica;
reglamentación argentina.**

RESUMEN

Se presentan las diferencias existentes entre la metodología de sondeo requerida por las reglamentaciones argentinas para la evaluación del impacto ambiental atmosférico y la metodología de sondeo propuesta por la USEPA. Para cumplir con los requerimientos de las reglamentaciones argentinas vigentes se desarrolló el modelo RGSonde debido a que los modelos de sondeo de la USEPA no se adaptan a los mismos. Se comparan los valores de la concentración máxima en aire a nivel del suelo y de la posición donde se presenta, estimados por los modelos RGSonde y SCREEN3 para diferentes escenarios de fuentes de emisión. Los resultados indican que, para el caso de una fuente puntual única, los valores de la concentración máxima obtenidos por el modelo RGSonde resultan mayores que los del modelo SCREEN3 y para fuentes múltiples las estimaciones del modelo RGSonde resultan menores que las del modelo SCREEN3.

INTRODUCCION

Los modelos de dispersión atmosférica utilizados en la evaluación del impacto ambiental atmosférico pueden clasificarse de acuerdo con su complejidad y su grado de desarrollo en dos niveles: modelos de sondeo (screening models) y modelos detallados (detailed models). De acuerdo con la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) si mediante la aplicación de técnicas simples, se evalúa que una determinada fuente de emisión genera un problema de contaminación atmosférica, es necesario utilizar los modelos detallados para evaluar el impacto ambiental atmosférico de la fuente en estudio (USEPA, 1992). En general, este principio ha sido adoptado por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (Res. ENRE 13/97) para ser aplicado en el análisis del impacto ambiental que producen los efluentes gaseosos de las centrales térmicas convencionales para generación de energía eléctrica. También la Secretaría de Política Ambiental (SPA) de la Provincia de Buenos Aires (Res. SPA 242/97) adoptó en general, esta filosofía para la evaluación del impacto ambiental atmosférico de las emisiones provenientes de fuentes puntuales estacionarias en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires. En el caso de la metodología de sondeo existen algunas diferencias entre los requerimientos incluidos en las reglamentaciones argentinas (Etapa I de la Res. ENRE 13/97 y Etapa II de la Res. SPA 242/97) y la metodología propuesta por la USEPA. En este trabajo, se presentan las diferencias entre ambas metodologías de sondeo. Se comparan los valores de la concentración máxima a nivel del suelo y de la distancia a la que se presenta, estimados mediante la aplicación de ambos métodos a diferentes escenarios de fuentes.

DIFERENCIAS ENTRE LA METODOLOGIA DE SONDEO REQUERIDA POR LA REGLAMENTACION ARGENTINA Y POR LA USEPA

En general, la metodología de sondeo requerida por las reglamentaciones argentinas es similar al análisis de sondeo recomendado por la USEPA. Sin embargo, se verifican algunas diferencias en los siguientes aspectos:

Altura de la capa de mezcla

Las reglamentaciones argentinas requieren que el valor de la altura de la capa de mezcla en condiciones atmosféricas neutrales o inestables, sea considerado sumando 1m a la altura efectiva de emisión correspondiente. En condiciones atmosféricas estables su valor es ilimitado.

La metodología de sondeo propuesta por la USEPA (por ejemplo el modelo SCREEN3) estima un valor mínimo para la altura de la capa de mezcla. En condiciones atmosféricas neutrales e inestables, sólo si la altura efectiva de emisión es superior a este valor, la altura de la capa de mezcla se considera


adicionando 1m a la altura efectiva de emisión. En condiciones atmosféricas estables, la altura de la capa de mezcla también es considerada ilimitada.

Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad atmosférica

Las reglamentaciones argentinas requieren la estimación de las concentraciones de contaminantes en aire para la mayoría de las combinaciones de las condiciones de estabilidad atmosférica y velocidad del viento incluidas en el procedimiento de sondeo recomendado por la USEPA. Sin embargo, incorporan las suposiciones de clase de estabilidad C con velocidad del viento de 15.0 m/s y de clase de estabilidad C con viento de 20.0 m/s que no están consideradas en la metodología utilizada por la USEPA. Por su parte, la USEPA incluye las velocidades del viento 1.0 m/s y 1.5 m/s en las clases de estabilidad C y E y las velocidades 3.5 m/s y 4.0 m/s para la F, que las reglamentaciones argentinas no consideran. En la Tabla 1 se incluyen las combinaciones requeridas por las reglamentaciones argentinas y se indican los casos considerados por los modelos de sondeo de la USEPA.

Tabla 1. Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad atmosférica

Clase de estabilidad	Velocidad del viento (m/s)												
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	8.0	10.0	15.0	20.0
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E			*	*	*	*	*	*	*				
F	*	*	*	*	*								

* reglamentaciones argentinas (Res. ENRE 13/97 y Res. SPA 242/97)
 USEPA

Modelado de fuentes puntuales múltiples

En las reglamentaciones argentinas las fuentes puntuales múltiples deben ser consideradas en forma individual y la concentración en el receptor deberá ser evaluada como resultado del aporte de las emisiones provenientes de cada fuente. De acuerdo con esas reglamentaciones, en el caso de chimeneas múltiples, cada celda de la Tabla 1, tiene asociada una combinación de clase de estabilidad - velocidad del viento y tantas alturas de capa de mezcla como chimeneas sean consideradas. Para cada celda, no se puede definir "a priori" cuál es la combinación de chimeneas y altura de capa de mezcla que da origen a la máxima concentración de contaminantes en aire en el receptor ubicado a nivel del suelo. El análisis de sondeo debe asegurar el barrido de todas las combinaciones posibles. Se requiere determinar, para cada celda, la combinación de altura de capa de mezcla, velocidad del viento, clase de estabilidad atmosférica y chimeneas para la cual la concentración en el receptor sea máxima.

Los modelos de sondeo desarrollados por la USEPA (por ejemplo, SCREEN2, SCREEN3) están preparados para simular sólo la emisión desde una fuente única. Sin embargo, la USEPA propone un procedimiento a aplicar cuando las fuentes múltiples verifiquen determinadas condiciones. La metodología propuesta por la USEPA es aplicable cuando las chimeneas emiten el mismo contaminante, con características de emisión similares y se encuentran a distancias no mayores que 100m entre sí. En estas condiciones, se determinan los parámetros de emisión de una chimenea "representativa", desde donde virtualmente se emitirían los contaminantes a la atmósfera.

Direcciones del viento

Las reglamentaciones argentinas requieren que en el caso de chimeneas múltiples, el procedimiento de sondeo se aplique para ocho direcciones del viento (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO). Para cada dirección del viento, se determina el valor máximo de la concentración en aire a nivel del suelo analizando todas las combinaciones de velocidades del viento y clases de estabilidad atmosférica (Tabla 1). La concentración máxima correspondiente al 'peor caso' está dada por el mayor de estos ocho valores máximos de concentración.

Los modelos de sondeo (tipo SCREEN) de la USEPA no están en condiciones de considerar la variación de la dirección del viento.

Cumplimiento de la norma de calidad del aire

En el caso de realizar el estudio del impacto ambiental atmosférico de acuerdo con la etapa de sondeo (Etapa I de Res. ENRE 13/97 y Etapa II de Res. SPA 242/97), las reglamentaciones argentinas establecen que si las concentraciones en aire totales (suma de la concentración calculada considerando el aporte relativo de las fuentes en cuestión más la concentración de fondo) de los contaminantes calculadas mediante la etapa de sondeo no sobrepasan el 50% de los valores de la norma de calidad del aire correspondiente, las fuentes en estudio pueden considerarse ambientalmente adecuadas y no será necesario proseguir con las siguientes etapas.

La reglamentación de la USEPA requiere el cumplimiento de la norma de calidad del aire correspondiente. Cabe mencionar que, en general, las normas de calidad del aire para los contaminantes principales adoptadas por la Provincia de Buenos Aires y por los Estados Unidos son similares. En la Ciudad de Buenos Aires y en algunas otras provincias existen normas establecidas particularmente para cada estado y en el ámbito nacional se encuentran la Ley 20284 y la Ley 24051 (Decreto 831/93).

COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS DEL SONDEO REQUERIDO POR LAS REGLAMENTACIONES ARGENTINAS Y POR LA USEPA

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, debido a que las reglamentaciones argentinas requieren que los valores máximos de concentración total a nivel del suelo estimados mediante el método de sondeo sean comparados con el 50% del valor correspondiente establecido por la normativa vigente resulta, "a priori", que la normativa argentina puede ser más restrictiva con respecto a los requerimientos estadounidenses. Sin embargo, los diferentes requerimientos incluidos en ambas metodologías de sondeo pueden aumentar o disminuir la magnitud de esta restricción.

Las diferencias mencionadas en el punto anterior plantean la necesidad de un modelo de sondeo que cumpla con los requerimientos incluidos en la reglamentación argentina. Para ello, se desarrolló el modelo de sondeo RGSonde (**R**otating **G**rid **S**creening model) utilizando algunas de las técnicas incluidas en el modelo de sondeo SCREEN3 de la USEPA (1992) e incorporando los algoritmos necesarios para cumplir con la metodología requerida por las reglamentaciones argentinas. El modelo RGSonde incorpora todas las combinaciones de la Tabla 1, estima la altura de la capa de mezcla de acuerdo con lo requerido, considera el aporte individual de las fuentes múltiples e incluye un retículo giratorio que permite aplicar la metodología de sondeo en las ocho direcciones del viento en el caso de chimeneas múltiples.

Para comparar los resultados obtenidos por ambas metodologías de sondeo se aplicaron los modelos RGSonde (RGS) y SCREEN3 (SCR) (USEPA, 1992) a diferentes escenarios. Se calcularon los valores de la concentración máxima a nivel del suelo ($C_{\text{máx}}$) y la distancia a la cual ocurre ($X_{\text{máx}}$) para cada combinación velocidad del viento-clase de estabilidad atmosférica incluida en la Tabla 1. Para cada escenario de fuentes se determinó el mayor valor de las $C_{\text{máx}}$, (C_{MAX}) y su posición [$X(C_{\text{MAX}})$] respecto del origen de coordenadas.

Evaluación del modelo RGSonde: cálculos de prueba

En primer lugar, para comprobar la bondad del modelo RGSonde (RGS), se lo aplicó realizando los cálculos con las mismas consideraciones que el modelo SCREEN3 (SCR) y se compararon los resultados obtenidos por ambos modelos.

Se consideró una fuente puntual, ubicada en una zona rural y en una zona urbana y se calcularon las concentraciones máximas ($C_{\text{máx}}$) correspondientes a cada combinación de velocidad del viento-clase de estabilidad atmosférica presentada en la Tabla 1, así como también las distancias ($X_{\text{máx}}$) a la que éstas se presentan. La comparación de los resultados se realizó mediante la evaluación de los siguientes parámetros estadísticos calculados a partir de los valores obtenidos mediante el modelo RGSonde (RGS) y el modelo SCREEN3 (SCR) (Olesen, 1995) (la sobre barra indica promedio):

- Valor medio (**media**)

$$\overline{SCR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SCR)_i \quad ; \quad \overline{RGS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RGS)_i$$

donde N es el número de casos.

- Desviación estándar (**sigma**)

$$\sigma(SCR) = \sqrt{(\overline{SCR} - SCR)^2} \quad ; \quad \sigma(RGS) = \sqrt{(\overline{RGS} - RGS)^2}$$

- Desvío (**bias**)

$$bias = \overline{SCR - RGS}$$

- Error cuadrático medio normalizado (**nmse**)

$$nmse = \frac{(\overline{SCR - RGS})^2}{\overline{SCR \cdot RGS}}$$

- Fracción dentro de un factor 2 (**fa2**)

$$fa2 = \text{fracción de datos que verifican } 0.5 \leq (RGS/SCR) \leq 2.0$$

- Error fraccional (**fb**)

$$fb = \frac{\overline{SCR - RGS}}{0.5(\overline{SCR + RGS})}$$

- Varianza fraccional (**fs**)

$$fs = \frac{\sigma(SCR) - \sigma(RGS)}{0.5[\sigma(SCR) + \sigma(RGS)]}$$

- Coeficiente de correlación (r)

$$r = \frac{(\overline{SCR} - \overline{SCR}) \cdot (\overline{RGS} - \overline{RGS})}{\sigma(SCR) \cdot \sigma(RGS)}$$

Los valores de los parámetros estadísticos resultantes de la comparación de los resultados obtenidos mediante el modelo RGSONDE y los del SCREEN3 se presentan en la Tabla 2. El mayor valor de las C_{\max} (C_{\max}) y la distancia a la que se presenta [$X(C_{\max})$] también se incluyen en la Tabla 2. Existe una pequeña diferencia entre los valores obtenidos de $X(C_{\max})$ debido a que el modelo RGSONDE calcula la concentración a intervalos de distancia de 50m (de acuerdo con la reglamentación argentina), mientras que el modelo SCREEN3 posibilita la interpolación de la ubicación de $X(C_{\max})$ en forma más precisa. No se obtuvieron diferencias entre los valores de C_{\max} estimados por ambos modelos.

Los resultados de ambos modelos obtenidos en esta prueba presentaron una muy aceptable concordancia, mostrando que el modelo RGSONDE puede suplir al SCREEN3. Este último no se adapta a los requerimientos incluidos en las reglamentaciones argentinas mientras que el RGSONDE satisface dichos requerimientos.

Tabla 2. Parámetros estadísticos obtenidos de la comparación entre los valores calculados por el modelo RGSONDE y los resultantes del modelo SCREEN3, de la concentración máxima a nivel del suelo (C_{\max}) y de la distancia a la fuente donde se presenta (X_{\max}) para las diferentes combinaciones de velocidad del viento - clase de estabilidad atmosférica (**N**: número de estimaciones, **media**: valor medio; **sigma**: desviación estándar; **bias**: desvío; **nmse**: error cuadrático medio normalizado, **r**: coeficiente de correlación, **fa2**: fracción dentro de un factor 2; **fb**: error fraccional, **fs**: varianza fraccional, **C_{MAX}**: mayor valor de C_{\max} ; **X(C_{MAX})**: distancia a la que se presenta C_{\max})

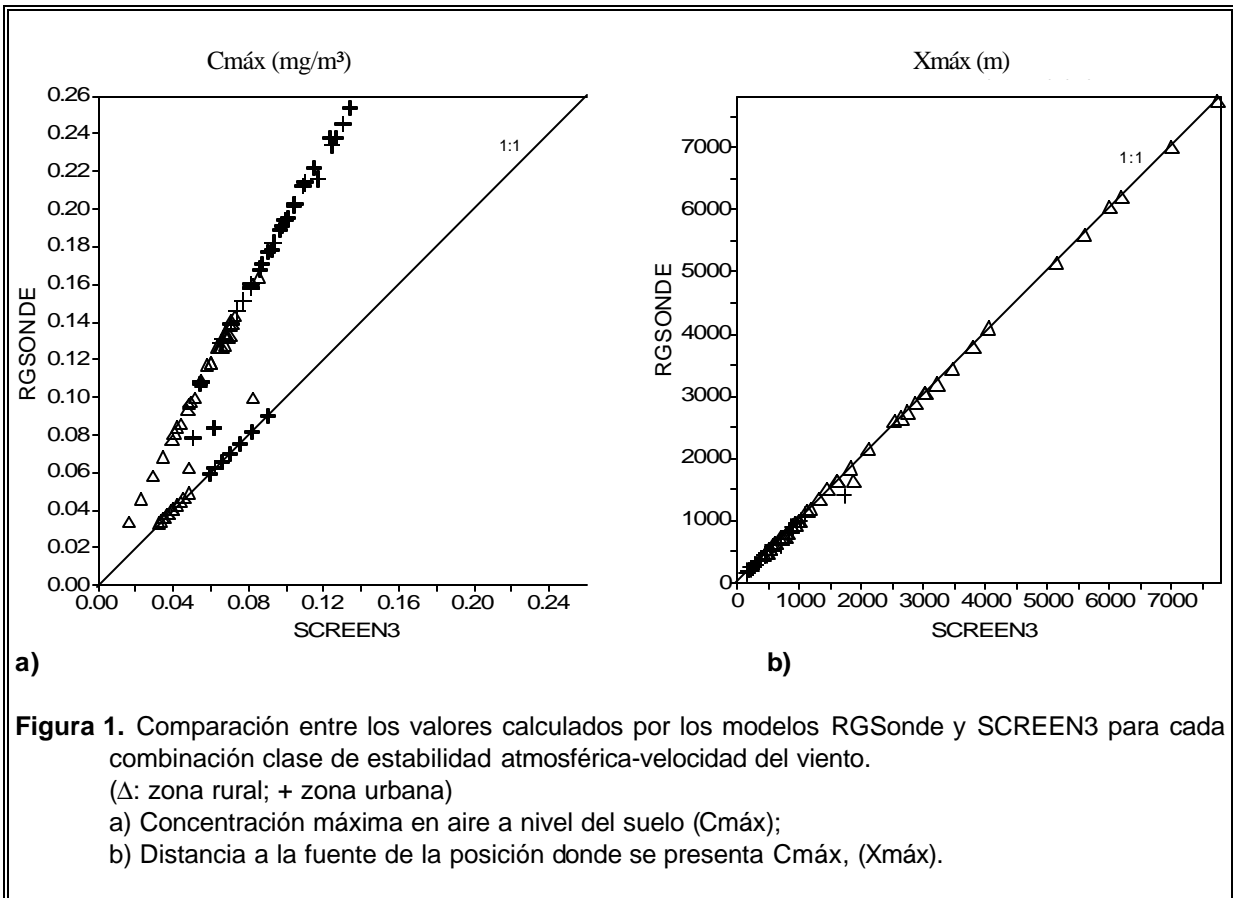
PRUEBA - Concentración máxima a nivel del suelo (mg/m³)									
Zona Rural (N=47)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	C _{MAX}
screen3	0.05	0.02	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.085
rgsonde	0.05	0.02	0.00	0.00	1.000	1.000	0.001	0.004	0.085
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	C _{MAX}
screen3	0.09	0.02	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.134
rgsonde	0.09	0.02	0.00	0.00	0.999	1.000	0.005	0.019	0.134
PRUEBA - Distancia a la fuente de la posición donde se presenta la concentración máxima (m)									
Zona Rural (N=47)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(C _{MAX})
screen3	2090.32	1902.40	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	473
rgsonde	2091.49	1905.40	-1.17	0.00	1.000	1.000	-0.001	-0.002	450
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(C _{MAX})
screen3	485.02	329.07	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	154
rgsonde	484.88	328.59	0.14	0.00	0.999	1.000	0.000	0.001	150

Aplicación de ambos métodos a diferentes escenarios de fuentes

En los siguientes escenarios se compararon los resultados obtenidos aplicando los requerimientos de las reglamentaciones argentinas vigentes (modelo RGSONDE) y las estimaciones realizadas utilizando el método de sondeo de la USEPA (modelo SCREEN3).

Fuente puntual única (zona rural y zona urbana)

Las concentraciones máximas de un contaminante en aire a nivel del suelo ($C_{\text{máx}}$) calculadas por el modelo RGSONDE y el modelo SCREEN3, para las emisiones provenientes de una chimenea única ubicada en una zona rural y en una zona urbana se presentan en la Figura 1a. Los valores ubicados sobre la recta 1:1 corresponden a condiciones atmosféricas estables (cuando ambos modelos consideran el mismo valor de la altura de capa de mezcla). En condiciones atmosféricas neutrales e inestables los valores de $C_{\text{máx}}$ calculados por el RGSONDE son mayores que los estimados por el SCREEN3. En estos casos, se considera que el valor de la altura de la capa de mezcla es 1m más alto que la altura efectiva de emisión de contaminantes resulta en valores mayores de la concentración estimada.



Se observa poca diferencia entre las distancias ($X_{\text{máx}}$) estimadas por ambos métodos (Figura 1b).

De acuerdo con los parámetros estadísticos incluidos en la Tabla 3, los valores de $C_{\text{máx}}$ estimados por el modelo RGSONDE tienen un valor medio que es aproximadamente el doble del obtenido aplicando el modelo SCREEN3 y además, presentan una mayor desviación estándar, tanto para terreno rural como urbano.

Tabla 3. Parámetros estadísticos obtenidos de la comparación de las estimaciones de la concentración máxima de contaminantes en aire a nivel del suelo ($C_{m\acute{a}x}$) y de la distancia ($X_{m\acute{a}x}$) obtenidas para cada combinación clase de estabilidad atmosférica-velocidad del viento de acuerdo con las reglamentaciones argentinas (RGSONDE) con los resultados del modelo SCREEN3 (ver Tabla2 para la nomenclatura de los parámetros)

FUENTE PUNTUAL UNICA -									
Concentración máxima a nivel del suelo (mg/m^3)									
Zona Rural (N=47)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.05	0.02	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.085
rgsonde	0.09	0.04	-0.04	0.46	0.904	0.979	-0.534	-0.852	0.163
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.09	0.02	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.134
rgsonde	0.15	0.06	-0.07	0.45	0.900	1.000	-0.564	-0.851	0.254
FUENTE PUNTUAL UNICA -									
Distancia a la fuente de la posición donde se presenta la concentración máxima (m)									
Zona Rural (N=47)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	2090.32	1902.40	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	473
rgsonde	2103.19	1903.48	-12.87	0.00	1.000	1.000	-0.006	-0.001	500
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	485.02	329.07	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	154
rgsonde	474.42	296.96	10.60	0.01	0.989	1.000	0.022	0.103	150

El mayor valor de $C_{m\acute{a}x}$ (CMAX) calculado por el modelo RGSONDE puede ser hasta el doble que el estimado por el modelo SCREEN3.

Existe poca diferencia entre los valores de la distancia a la que se presenta la concentración máxima calculados por ambos modelos.

Fuentes puntuales múltiples (zona rural y zona urbana)

El estudio del escenario de chimeneas múltiples sólo puede realizarse para fuentes que verifiquen los requisitos necesarios para que la metodología de sondeo de la USEPA pueda ser aplicada, es decir, cuando puedan determinarse las características de la "fuente representativa" correspondiente al modelo SCREEN3 (USEPA, 1992). Dos escenarios fueron considerados: I) tres chimeneas próximas entre sí y con características de emisión idénticas; II) tres chimeneas próximas entre sí y con características de emisión levemente diferentes.

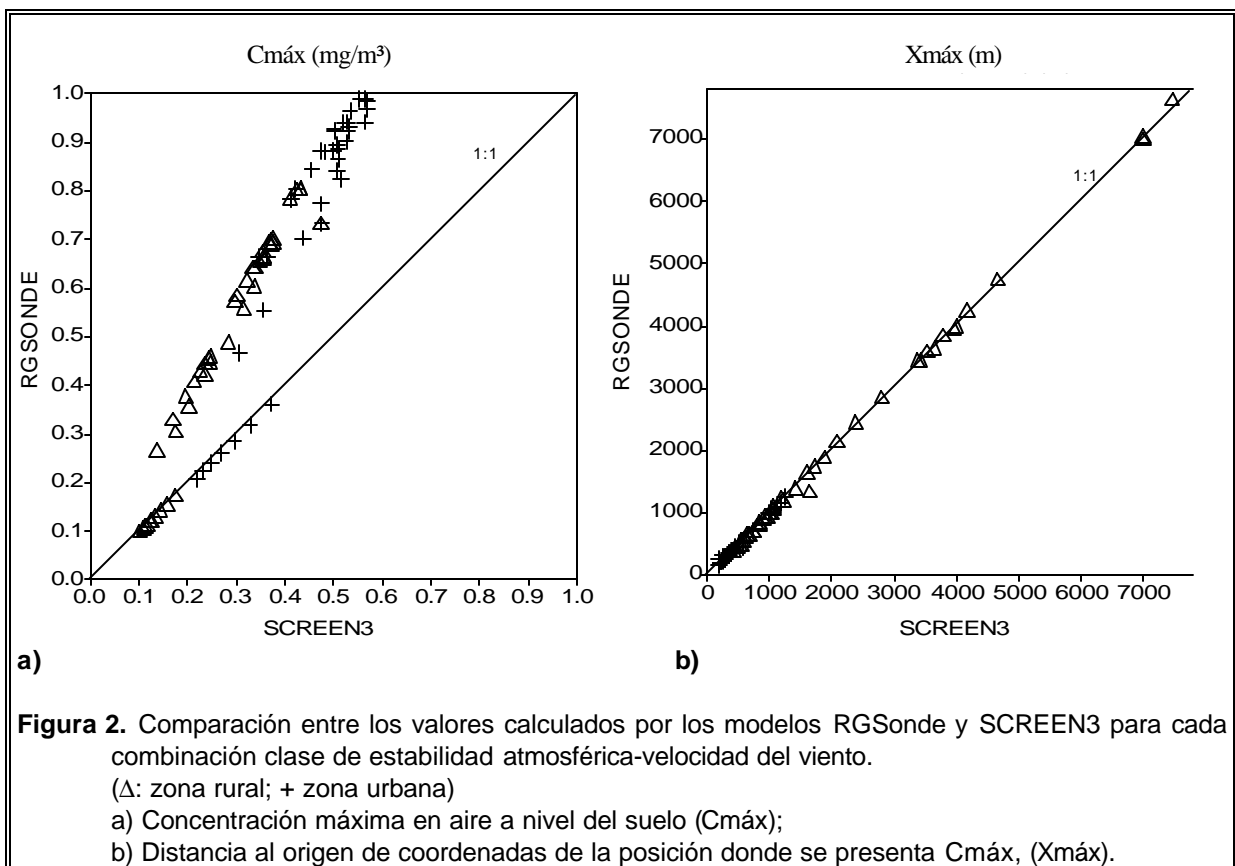
I) Tres chimeneas idénticas

Se aplicaron ambas metodologías de sondeo a un escenario de fuentes puntuales múltiples idénticas, ubicadas en áreas rural y urbana. Se consideraron tres chimeneas ubicadas a menos de 100m entre sí y con las siguientes características de emisión:

Chimenea	hs(m)	Ts (K)	V(m ³ /s)	Q(g/s)	xs(m)	ys(m)
1	36	350	39.00	25.0	70.0	0.0
2	36	350	39.00	25.0	70.0	50.0
3	36	350	39.00	25.0	0.0	0.0

donde h_s es la altura de la chimenea; T_s es la temperatura de los gases a la salida de la chimenea; V es el caudal volumétrico de gases a la salida de la chimenea; Q es el caudal másico de la emisión; (x_s ; y_s) son las coordenadas horizontales de la ubicación de la chimenea.

En la Figura 2a) se presenta la comparación de las concentraciones máximas ($C_{m\acute{a}x}$) a nivel del suelo obtenidas utilizando ambas metodologías para las combinaciones de clase de estabilidad atmosférica-velocidad del viento.



La Tabla 4 presenta los valores de los parámetros estadísticos resultantes de la comparación de los valores de concentración máxima y de distancia obtenidos aplicando el modelo RGSONDE con los del modelo SCREEN3, para el escenario de tres chimeneas idénticas.

Tabla 4. Parámetros estadísticos obtenidos de la comparación de las estimaciones de la concentración máxima de contaminantes en aire a nivel del suelo ($C_{\text{máx}}$) y de la distancia ($X_{\text{máx}}$) obtenidas para cada combinación clase de estabilidad atmosférica-velocidad del viento de acuerdo con las reglamentaciones argentinas (RGSONDE) con los resultados del modelo SCREEN3 (ver Tabla2 para la nomenclatura de los parámetros)

FUENTES PUNTUALES MÚLTIPLES (tres chimeneas idénticas)									
Concentración máxima a nivel del suelo (mg/m^3)									
Zona Rural (N=45)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.27	0.11	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.475
rgsonde	0.48	0.23	-0.21	0.46	0.980	1.000	-0.552	-0.739	0.806
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.45	0.10	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.569
rgsonde	0.75	0.24	-0.30	0.34	0.950	1.000	-0.505	-0.841	0.990
FUENTES PUNTUALES MÚLTIPLES (tres chimeneas idénticas)									
Distancia al origen de coordenadas de la posición donde se presenta la concentración máxima (m)									
Zona Rural (N=45)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	2021.20	1837.93	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	740
rgsonde	2029.00	1868.94	-7.80	0.00	1.000	1.000	-0.004	-0.017	450
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	471.74	316.28	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	266
rgsonde	458.44	314.20	13.30	0.01	0.995	1.000	0.029	0.007	300

Los valores de $C_{\text{máx}}$ obtenidos mediante el procedimiento requerido por las reglamentaciones argentinas (modelo RGSONDE) son aproximadamente el 70% mayores que los resultados del modelo SCREEN3 y los valores de $X_{\text{máx}}$ difieren en menos del 10%. El valor restrictivo de la altura de la capa de mezcla (1m más alto que la altura efectiva de emisión) limita la dispersión vertical de los contaminantes emitidos desde las tres chimeneas y en consecuencia los valores estimados de la concentración de contaminantes en aire a nivel del suelo resultan apreciablemente superiores.

En condiciones de terreno rural, la concentración máxima correspondiente al 'peor caso', dada por el mayor valor de $C_{\text{máx}}$ (CMAX), estimada por el modelo RGSONDE (CMAX= 0.806 mg/m^3) es un 70% mayor que la obtenida por el modelo SCREEN3 (CMAX= 0.475 mg/m^3).

Para terreno urbano, el mayor valor de $C_{\text{máx}}$ obtenido por el modelo RGSONDE (CMAX= 0.990 mg/m^3) resulta el 74% mayor que el calculado por el modelo SCREEN3 (CMAX= 0.569 mg/m^3).

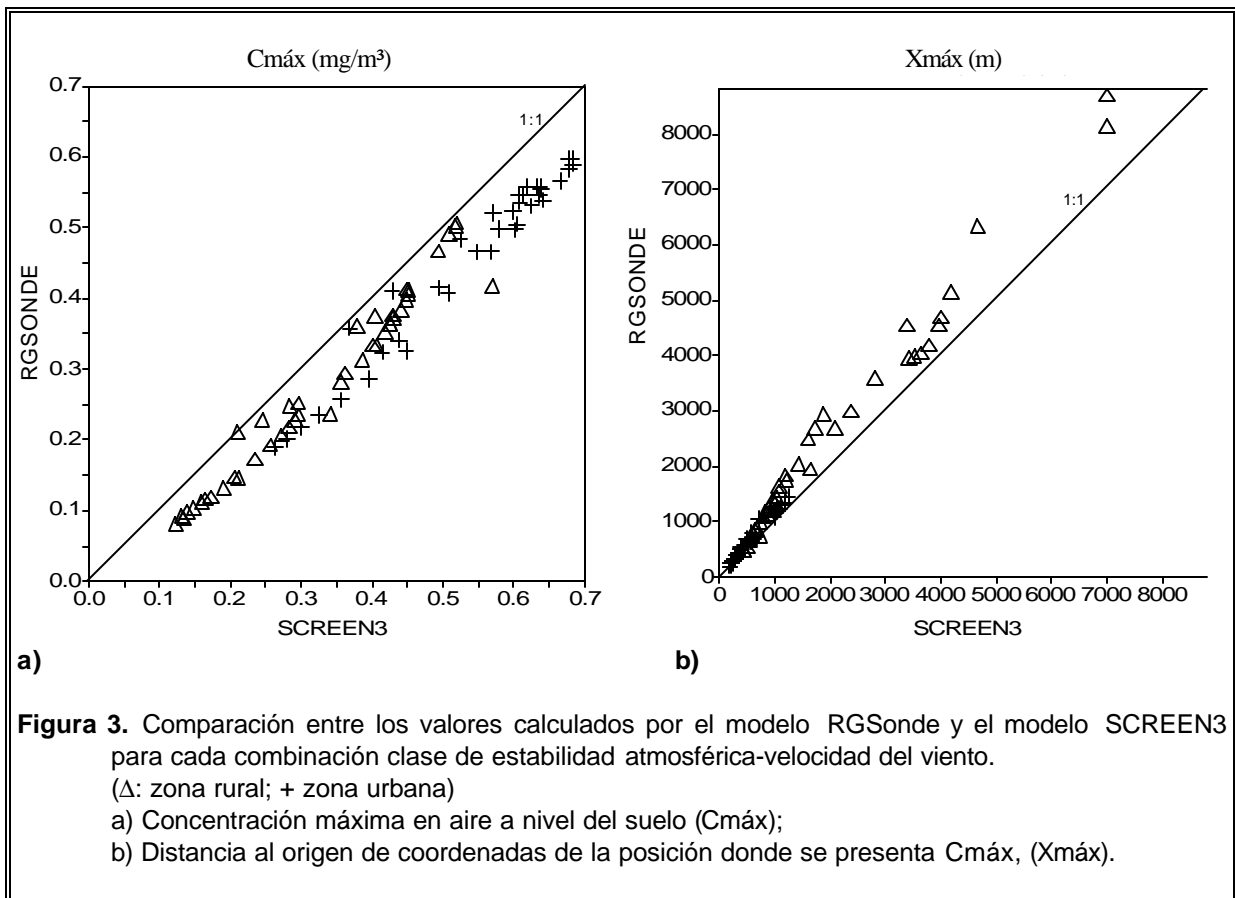
II) Tres chimeneas levemente diferentes

Se consideraron tres chimeneas emitiendo el mismo contaminante, ubicadas a menos de 100m entre sí y cuyas características de emisión son las siguientes (los parámetros han sido definidos en el punto I):

Chimenea	hs(m)	Ts (K)	V(m ³ /s)	Q(g/s)	xs(m)	Ys(m)
1	40	375	42.21	30.0	70.0	0.0
2	44	420	48.00	35.0	70.0	50.0
3	36	350	39.00	25.0	0.0	0.0

De acuerdo con la metodología sugerida por la USEPA (USEPA, 1992) para el modelado de sondeo de fuentes múltiples, los parámetros de emisión de estas tres chimeneas son suficientemente similares entre sí y dado que las mismas se encuentran a no más de 100m de distancia entre sí, las fuentes cumplen con los requisitos para poder determinar una “chimenea representativa” válida para la aplicación del modelo SCREEN3.

En las Figuras 3a) y 3b) se comparan los valores de $C_{m\acute{a}x}$ y de $X_{m\acute{a}x}$ estimados mediante el modelo RGSONDE con las estimaciones del modelo SCREEN3.



En la Tabla 5 se presentan los valores de los parámetros estadísticos resultantes de la comparación entre los valores de concentración máxima en aire a nivel del suelo y de distancias calculados aplicando el modelo RGSONDE con los resultados del modelo SCREEN3, en el caso de tres chimeneas levemente diferentes entre sí ubicadas en zonas rural y urbana.

Tabla 5. Parámetros estadísticos obtenidos de la comparación de las estimaciones de la concentración máxima de contaminantes en aire a nivel del suelo ($C_{\text{máx}}$) y de la distancia ($X_{\text{máx}}$) obtenidas para cada combinación clase de estabilidad atmosférica-velocidad del viento de acuerdo con las reglamentaciones argentinas (RGSONDE) con los resultados del modelo SCREEN3 (ver Tabla 2 para la nomenclatura de los parámetros)

FUENTES PUNTUALES MÚLTIPLES (tres chimeneas levemente diferentes)									
Concentración máxima a nivel del suelo (mg/m^3)									
Zona Rural (N=44)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.33	0.13	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.570
rgsonde	0.28	0.13	0.05	0.04	0.980	1.000	0.170	0.000	0.507
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	CMAX
screen3	0.54	0.12	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	0.683
rgsonde	0.46	0.12	0.08	0.03	0.982	1.000	0.162	-0.002	0.597
FUENTES PUNTUALES MÚLTIPLES (tres chimeneas levemente diferentes)									
Distancia al origen de coordenadas de la posición donde se presenta la concentración máxima (m)									
Zona Rural (N=44)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	1897.41	1662.88	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	740
rgsonde	2411.36	1984.57	-513.95	0.09	0.992	1.000	-0.239	-0.176	500
Zona Urbana (N=43)									
modelo	media	sigma	bias	nmse	r	fa2	fb	fs	X(CMAX)
screen3	471.74	316.28	0.00	0.00	1.000	1.000	0.000	0.000	266
rgsonde	579.07	365.72	-107.33	0.06	0.992	1.000	-0.204	-0.145	300

En este caso, los valores de $C_{\text{máx}}$ estimados por el modelo RGSONDE son aproximadamente el 17% menor que los obtenidos por el modelo SCREEN3. El valor medio de las concentraciones máximas de contaminantes en aire a nivel del suelo calculadas por ambos modelos difieren en el 15% tanto en zona rural como urbana, siendo las estimaciones de las reglamentaciones argentinas generalmente menores (ver Figura 3a). Las estimaciones obtenidas por ambas metodologías presentan la misma desviación estándar.

Las distancias $X_{\text{máx}}$ calculadas por el modelo RGSONDE son en general mayores que las calculadas por el modelo SCREEN3, en alrededor del 24% ($X_{\text{máx}}$ indica la distancia al origen de coordenadas de la posición donde se presenta la concentración máxima).

Considerando terreno rural, el mayor valor de $C_{\text{máx}}$ (correspondiente al 'peor caso') estimado por el modelo RGSONDE ($C_{\text{MAX}} = 0.507 \text{ mg}/\text{m}^3$) es el 11% menor que el estimado por el modelo SCREEN3 ($C_{\text{MAX}} = 0.570 \text{ mg}/\text{m}^3$). Para una zona urbana, la mayor $C_{\text{máx}}$ estimada mediante el modelo RGSONDE ($C_{\text{MAX}} = 0.597 \text{ mg}/\text{m}^3$) es el 13% menor que la obtenida aplicando el modelo SCREEN3 ($C_{\text{MAX}} = 0.683 \text{ mg}/\text{m}^3$).

CONCLUSIONES

Las diferencias entre la metodología de sondeo incluida en la reglamentación argentina y la requerida por la USEPA indican que el modelo SCREEN3 podría ser utilizado, para cumplir con los requerimientos argentinos, sólo en el caso de una fuente puntual única y con la previa adaptación del mismo a los requerimientos locales (Res. ENRE 13/97 y Res. SPA (Prov. de Buenos Aires) 242/97). Para el caso de chimeneas múltiples, los modelos de sondeo desarrollados por la agencia estadounidense no cumplen con las especificaciones establecidas en la normativa argentina vigente.

Teniendo en cuenta estas diferencias se desarrolló el modelo RGSonde, que utiliza algunas técnicas incluidas en el modelo SCREEN3 y además incorpora los algoritmos necesarios para cumplir con los requerimientos de las reglamentaciones argentinas, siendo aplicable a una fuente de emisión única o a fuentes múltiples, ubicadas en terreno rural o urbano.

Aplicando los modelos RGSonde y SCREEN3, se analizaron diferentes escenarios de fuentes de emisión, encontrándose que las concentraciones máximas de contaminantes en aire a nivel del suelo obtenidas de acuerdo con los requerimientos establecidos para la etapa de sondeo especificada en la reglamentación argentina resultan diferentes de las estimadas a partir de la metodología de sondeo propuesta por la USEPA. Los valores de concentración máxima estimados por el modelo RGSonde pueden resultar en promedio el 70% mayores (para una fuente única o fuentes múltiples idénticas) o el 12% menores que los obtenidos por el SCREEN3 (en el caso de fuentes múltiples levemente diferentes entre sí). Respecto de la ubicación de la posición de la concentración máxima a nivel del suelo, existe poca diferencia entre los valores estimados por ambos modelos. La mayor diferencia se presenta en el escenario de fuentes múltiples (idénticas o levemente diferentes) ubicadas en zona rural, donde el RGSonde estimó que la concentración máxima correspondiente al 'peor caso' se produce a aproximadamente 500m y el SCREEN3 la obtiene a 740m del origen de coordenadas.

Por otra parte, las comparaciones correspondientes al escenario de fuentes múltiples diferentes no pudieron ser realizadas debido a que, si bien el modelo RGSonde puede ser aplicado, la metodología de sondeo propuesta por la USEPA carece de validez.

Asimismo, teniendo presente que en Argentina se requiere que los valores máximos de las concentraciones a nivel del suelo totales (suma de los valores calculados de $C_{\text{máx}}$ más la concentración de fondo) sean comparados con el 50% del valor correspondiente establecido por la normativa vigente, surge que en la etapa de sondeo la normativa argentina puede ser aún más restrictiva respecto de lo mencionado anteriormente que los requerimientos establecidos por la reglamentación de la USEPA.

REFERENCIAS

- Olesen, H.R. 1995. The model validation exercise at Mol: overview of results. Int. J. Environment and Pollution, Vol.5, Nos.4-6. 761-784.
- USEPA. 1992. Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised. Environmental Protection Agency. OAQPS. Research Triangle Park, NC. EPA-454/R-92-019.