

Base de Datos Meteorológica del CAE
para el programa PC CREAM.
Factor de Dilución Atmosférico
en distintos puntos del CAE y
las centrales nucleares argentinas

Amado, V.A.

AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR
Av. del Libertador 8250
(C1429BNP) Ciudad de Buenos Aires, ARGENTINA
Tel.: (011) 6323-1770
0800-555-1489
Fax: (011) 6323-1771/1798
<http://www.arn.gov.ar>

BASE DE DATOS METEOROLÓGICA DEL CAE PARA EL PROGRAMA PC CREAM. FACTOR DE DILUCIÓN ATMOSFÉRICO EN DISTINTOS PUNTOS DEL CAE Y LAS CENTRALES NUCLEARES ARGENTINAS

Amado, V.A.

Autoridad Regulatoria Nuclear
Argentina

RESUMEN

En la primera parte de este trabajo se confecciona e incorpora a las bibliotecas del programa PC CREAM, desarrollado por el National Radiological Protection Board y la Unión Europea, el archivo EZEIZA.MET con la base de datos meteorológicos aplicable a la zona del Centro Atómico Ezeiza. Para ello se empleó información provista por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondiente a la Estación Meteorológica Ezeiza durante el período 1996-2005. En la segunda parte, se presenta la metodología para estimar el factor de dilución atmosférico en un punto mediante el módulo PLUME del programa PC CREAM.

La metodología desarrollada fue aplicada para estimar el factor de dilución en puntos cercanos al Centro Atómico Ezeiza y a las centrales nucleares Atucha I y Embalse. En el primer caso se utiliza el archivo con la base de datos meteorológicos generado, mientras que para las centrales se emplean los archivos ya existentes ATUCHALO.MET y EMBALSE.MET respectivamente. Se comparan los factores de dilución obtenidos con los hallados en trabajos previos.

La metodología propuesta resulta una herramienta de utilidad para estimar los factores de dilución en forma simple y sistemática y, simultáneamente, permite la actualización de los datos meteorológicos empleados en las estimaciones.

1. INTRODUCCIÓN

El programa Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology (PC CREAM) fue desarrollado por la Nacional Radiological Protection Board (NRPB) y la Unión Europea para la evaluación de las consecuencias radiológicas de la descarga de efluentes radiactivos durante la operación normal de instalaciones nucleares y radiactivas [1].

En particular, el módulo PLUME del programa PC CREAM estima la dispersión atmosférica de emisiones continuas de radionucleidos a la atmósfera. Para ello se basa en un modelo de pluma Gaussiano semiempírico que considera que la remoción de actividad de la pluma puede ocurrir por tres procesos: decaimiento radiactivo, depósito húmedo y depósito seco [2]. Permite evaluar la siguiente información, como función de la distancia y de la dirección al punto de descarga:

- Concentración de Actividad en el aire (Bq/m^3)
- Tasa de Depósito ($\text{Bq/m}^2\text{s}$)
- Dosis Efectiva debido a la irradiación externa por radiación gamma (Sv/a)

Este módulo permite emplear una rosa de vientos uniforme o datos específicos del sitio, que deben ser incorporados como un archivo a las bibliotecas del programa.

Hasta el momento, las bibliotecas del PC CREAM tenían incorporados archivos con los datos meteorológicos de las dos centrales nucleares argentinas Atucha I (CNAI) y Embalse (CNE). Uno de los objetivos de este trabajo fue crear, y agregar a las bibliotecas del programa, un

archivo con los datos meteorológicos aplicable al Centro Atómico Ezeiza (CAE). El mismo fue elaborado a partir de la información brindada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), correspondiente a la Estación Meteorológica Ezeiza durante el período 1996-2005, e incorporado con el nombre EZEIZA.MET.

2. BASE DE DATOS METEOROLÓGICOS PARA EL CENTRO ATÓMICO EZEIZA

Para la actualización de los datos meteorológicos del CAE y su incorporación a las bibliotecas del programa PC CREAM, se solicitó al Servicio Meteorológico Nacional los datos correspondientes al período 1996-2005. Los mismos se muestran en el punto 2.1, mientras que en 2.2 se presenta el archivo EZEIZA.MET.

2.1 Datos del Servicio Meteorológico Nacional

La Tabla 1 muestra los datos de la Estación Meteorológica Ezeiza durante el período 1996-2005.

Los datos corresponden a las direcciones desde las que proviene el viento. Están discriminados, de acuerdo a lo solicitado, en 16 sectores angulares centrados en los principales puntos cardinales y para un esquema de 8 clases de estabilidad de Pasquill: A, B, C, D, E y F sin lluvias y C y D con lluvias. También se consideran días de calma y viento variable.

Se puede observar que las mayores frecuencias se dan para los vientos provenientes del sector NE, y en segundo lugar para los del SE. La clase de estabilidad predominante es D y, en segundo lugar C. Las calmas constituyen menos del 5% de los casos y las situaciones de viento variable el 0,2%.

A partir de estos datos se confeccionó la base de datos meteorológicos para el Centro Atómico Ezeiza.

Tabla 1. Frecuencia absoluta de casos por dirección del viento horario y estabilidad (Pasquill). Fuente SMN, estación meteorológica Ezeiza, período 1996-2005.

Sin luvias	A	A-B	B	B-C	C	C-D	D	E	F	Total
N	6	68	423	213	1257	165	1104	660	560	4456
NNE	6	36	524	206	1008	189	1532	516	590	4607
NE	14	67	1127	380	2797	393	3079	1182	1326	10365
ENE	2	29	515	122	1344	121	1908	874	1038	5953
E	9	54	531	102	1086	84	1922	956	1062	5806
ESE	4	45	419	104	915	52	1654	742	946	4881
SE	6	66	544	114	1194	105	1936	726	1067	5758
SSE	4	40	371	66	757	51	1202	316	425	3232
S	14	63	587	110	1147	81	1737	505	798	5042
SSW	8	41	511	91	712	60	1067	282	565	3337
SW	10	47	605	86	909	55	1242	287	573	3814
WSW	5	35	447	54	661	30	884	317	539	2972
W	15	74	699	134	920	68	974	456	915	4255
WNW	5	51	562	108	624	85	563	307	696	3001
NW	5	66	655	172	1055	130	743	425	809	4060
NNW	3	57	389	210	921	128	531	456	514	3209
VRB	18	45	68	1	3	0	2	2	33	172
CLM	5	51	1238	0	1	0	50	0	2357	3702
Total	139	935	10215	2273	17311	1797	22130	9009	14813	78622

Con lluvias	C	C-D	D	Total	Con lluvias	C	C-D	D	Total
N	48	2	132	182	SW	63	0	423	486
NNE	57	0	210	267	WSW	48	0	243	291
NE	127	3	460	590	W	52	0	244	296
ENE	84	0	375	459	WNW	29	0	153	182
E	107	1	601	709	NW	54	0	131	185
ESE	90	0	786	876	NNW	44	0	89	133
SE	158	0	954	1112	VRB	2	0	5	7
SSE	97	0	634	731	CLM	0	0	47	47
S	127	0	836	963	Total	1276	6	6817	8099
SSW	89	0	494	583					

2.2 EZEIZA.MET

El programa PC CREAM [2] requiere que la distribución de frecuencias del viento se exprese en una única tabla como frecuencias relativas al número total de datos, pudiendo discriminar hasta en un máximo de 18 sectores que corresponden a las direcciones hacia donde fluye el viento y teniendo en cuenta las clases de estabilidad de la categoría considerada.

En este trabajo, por consistencia con los archivos de las centrales nucleares argentinas [3], se consideraron las 8 clases de estabilidad del esquema de categorías de Pasquill y 16 sectores que representan cada una de las direcciones hacia donde fluye el viento. Los sectores están centrados en los principales puntos cardinales y poseen una amplitud de 22,5°. El primero de ellos corresponde a la dirección Nor-Nordeste (NNE) y va desde 348,75° a 11,25°.

Para satisfacer los requisitos antes mencionados se procesaron los datos de la Tabla 1 obteniendo los datos de la Tabla 2, de la siguiente manera:

- Los datos asociados a una clase de estabilidad mixta (ejemplo A-B) fueron divididos a la mitad y cada mitad sumada a cada clase (en el ejemplo, clases A y B).

- La frecuencia relativa se obtiene dividiendo por 82 793, que es el número total de casos sin considerar las frecuencias asociadas a calma o a dirección variable.

- Para que los datos correspondan a la dirección hacia donde fluye el viento (y no a la dirección desde la cual proviene el viento, como en la Tabla 1) se debió rotar la distribución de frecuencias en 180°. Por ejemplo, los datos que originalmente estaban asociados al sector N fueron asignados al sector S.

Finalmente los datos de la Tabla 2 se pasaron a un formato de texto adecuado para ser interpretado por el PC CREAM, lo que constituye el archivo denominado EZEIZA.MET que actualmente forma parte de las bibliotecas del programa.

Tabla 2. Datos meteorológicos obtenidos adaptando los datos de la Tabla 1 al programa PC CREAM.

	NNE (1)	NE (2)	ENE (3)	E (4)	ESE (5)	SE (6)
A	3,44E-04	4,05E-04	2,72E-04	6,28E-04	3,68E-04	4,59E-04
B	6,97E-03	8,11E-03	5,94E-03	9,70E-03	7,75E-03	9,35E-03
C	9,51E-03	1,18E-02	8,49E-03	1,23E-02	8,70E-03	1,46E-02
D	1,32E-02	1,53E-02	1,09E-02	1,22E-02	7,31E-03	9,76E-03
E	3,41E-03	3,47E-03	3,83E-03	5,51E-03	3,71E-03	5,13E-03
F	6,82E-03	6,92E-03	6,51E-03	1,11E-02	8,41E-03	9,77E-03
C (c/p)	1,07E-03	7,61E-04	5,80E-04	6,28E-04	3,50E-04	6,52E-04
D (c/p)	5,97E-03	5,11E-03	2,94E-03	2,95E-03	1,85E-03	1,58E-03
	SSE (7)	S (8)	SSW (9)	SW (10)	WSW (11)	W (12)
A	3,80E-04	4,83E-04	2,90E-04	5,74E-04	1,99E-04	4,35E-04
B	6,31E-03	6,81E-03	7,79E-03	1,63E-02	7,13E-03	7,36E-03
C	1,32E-02	1,75E-02	1,46E-02	3,85E-02	1,77E-02	1,42E-02
D	7,19E-03	1,43E-02	1,96E-02	3,96E-02	2,38E-02	2,37E-02
E	5,51E-03	7,97E-03	6,23E-03	1,43E-02	1,06E-02	1,15E-02
F	6,21E-03	6,76E-03	7,13E-03	1,60E-02	1,25E-02	1,28E-02
C (c/p)	5,31E-04	5,92E-04	6,88E-04	1,55E-03	1,01E-03	1,30E-03
D (c/p)	1,07E-03	1,61E-03	2,54E-03	5,57E-03	4,53E-03	7,27E-03
	WNW (13)	NW (14)	NNW (15)	N (16)		
A	3.20E-04	4.71E-04	2.90E-04	5.50E-04		
B	5.96E-03	7.66E-03	5.12E-03	8.13E-03		
C	1.20E-02	1.57E-02	9.85E-03	1.50E-02		
D	2.03E-02	2.40E-02	1.48E-02	2.15E-02		
E	8.96E-03	8.77E-03	3.82E-03	6.10E-03		
F	1.14E-02	1.29E-02	5.13E-03	9.64E-03		
C (c/p)	1.09E-03	1.91E-03	1.17E-03	1.53E-03		
D (c/p)	9.49E-03	1.15E-02	7.66E-03	1.01E-02		

3. FACTOR DE DILUCIÓN

El factor de dilución en un punto x, también llamado factor de dispersión, es la concentración de radionucleido C(x) en ese punto normalizada por la descarga Q [4]:

$$F_d = \frac{C(x)}{Q} \quad (1)$$

Debido a que el factor de dilución es la parte geométrica de la ecuación de dispersión, resulta independiente del radionucleido descargado. La importancia de determinar su valor radica entonces en que una vez conocido, permite calcular la concentración de cualquier radionucleido en ese punto sólo con conocer la cantidad descargada por la instalación.

El módulo PLUME requiere, antes de iniciar cualquier corrida, el ingreso de los datos de los radionucleidos descargados y del sitio de emplazamiento de la instalación que se detallan en el punto 3.1. En el punto 3.2 se muestra como estimar el factor de dilución en un punto, empleando el módulo en cuestión.

3.1 Parámetros de ingreso del módulo PLUME [2]

Datos del radionucleido descargado:

- Tasa de descarga (Bq/s)

- Velocidad de Depósito (m/s)

La velocidad de depósito está asociada al material que es removido de la pluma al impactar sobre la superficie u obstáculos, tales como la vegetación. Se define como el cociente entre el material depositado sobre la superficie, por unidad de área y de tiempo, y la concentración de aire por unidad de volumen en la superficie. Los valores asignados por el programa son nulos para H-3, C-14 y gases nobles; 10^{-2} m/s y 10^{-5} m/s para I inorgánico y orgánico respectivamente, y 10^{-3} m/s para los otros radionucleidos. No obstante puede optarse por valores diferentes a estos.

- Coeficiente de Lavado (1/s)

El coeficiente de lavado permite calcular el depósito húmedo. Se define como la fracción de material de la pluma que es removido por unidad de tiempo, debido a las precipitaciones. Los valores adoptados por el programa son nulos para H-3, C-14 y gases nobles y de 10^{-4} 1/s para los otros radionucleidos, aunque pueden emplearse otros.

Datos del Sitio:

- Altura Efectiva de Descarga

La altura efectiva de descarga es la altura que alcanza la pluma por encima del punto de descarga. La elevación del material liberado a la atmósfera puede deberse tanto a la velocidad vertical como a la energía térmica de la descarga [1].

El módulo permite variar esta altura entre 0 y 100 m.

- Distancia del punto de descarga al de evaluación

El rango de distancias aceptables varía entre 0,3 km y 3000 km, pudiendo seleccionarse hasta 20 puntos de evaluación en la misma corrida. Las distancias con más de 2 decimales son redondeadas al valor más próximo.

Cabe aclarar que solo se debe ingresar el módulo de la distancia, sin tener en cuenta la dirección.

- Rosa de Vientos

El programa permite emplear una rosa de vientos uniforme o datos específicos del sitio. En el último caso los datos deben ser incorporados a las bibliotecas del programa PC CREAM como un archivo de extensión .MET, considerando alguno de los 3 esquemas de categorías de estabilidad posibles.

- Rugosidad del terreno

Este parámetro está asociado a la dispersión de la pluma por turbulencia mecánica. Existen 7 valores disponibles asociados a distintos tipos de terreno, que varían entre 0,01 y 4 m.

- Esquema de categorías de estabilidad a emplear

Los tres esquemas posibles son: Pasquill, Hosker/Smith y Doury.

La elección del esquema depende de la disponibilidad de los datos meteorológicos específicos.

Una vez ingresados los datos y realizada la corrida, se obtienen las magnitudes mencionadas en la introducción (concentración en aire, tasa de depósito y dosis efectiva debido a la irradiación externa por radiación gamma). Para cada punto de evaluación, caracterizado por la distancia desde el punto de descarga, el valor de estas magnitudes es discriminado en todos los sectores de la rosa de vientos. Por lo tanto, para interpretar el resultado correctamente habrá que seleccionar el valor del sector correspondiente a la dirección del punto de evaluación (que como se mencionó, no es un parámetro requerido por el PLUME).

3.2 Método de cálculo del Factor de dilución

La metodología que se describe a continuación fue aplicada anteriormente para estimar el factor de dilución en la ubicación del grupo crítico de la Central Nuclear Embalse [5] y en la del grupo crítico de la Central Nuclear Atucha I [6]. Para esto se utilizó en cada caso la base meteorológica correspondiente a esa instalación [3]. El factor de dilución obtenido con el PC CREAM en el caso de la CNAI es el considerado actualmente en los modelos ambientales y de evaluación de la ARN.

Si se considera una descarga unitaria (1 Bq/s), la concentración en aire (expresada en Bq/m³) es numéricamente igual al factor de dilución (en unidades s/m³) [5]. Entonces, el método para estimar el factor de dilución consiste en evaluar la concentración en el punto de interés debido a la descarga de 1 Bq/s, mediante el módulo PLUME.

Como se mencionó en el punto 1 el módulo considera la remoción de actividad de la pluma por decaimiento radiactivo, depósito húmedo y depósito seco [2]. Tales procesos dependen del radionucleido y no deberían ser tenidos en cuenta en la estimación del factor de dilución. Aplicando el PLUME a radionucleidos de distinto semiperíodo de desintegración se verificó que la corrección por decaimiento radiactivo es despreciable para todas las distancias analizadas. Respecto a la remoción por depósito, se excluye del cálculo tomando la velocidad de depósito y el coeficiente de lavado iguales a cero. Por lo tanto se calcula la concentración en aire de un radionucleido cualquiera, utilizando los siguientes datos de entrada:

- Tasa de descarga: 1Bq/s
- Velocidad de Depósito (m/s): 0
- Coeficiente de Lavado (1/s): 0

Los datos que dependen del sitio deberán ser determinados en cada caso. En particular, en el punto 4.1 se muestran los datos asociados a puntos cercanos al CAE y a las centrales nucleares argentinas.

4. FACTOR DE DILUCIÓN PARA EL CAE Y LAS CENTRALES NUCLEARES ARGENTINAS

Para estimar el factor de dilución atmosférico en puntos cercanos al CAE y a las centrales nucleares CNAI y CNE se aplicó la metodología descrita en el punto 3.2. En el punto 4.1 se detallan los datos del sitio considerados para realizar las evaluaciones mientras que en el 4.2 se presentan los resultados.

4.1 Parámetros específicos para cada emplazamiento

Para cada uno de los sitios se estimó el factor de dilución en 48 puntos. Se emplearon 3 distancias entre el punto de descarga y el de evaluación y en cada una de ellas se consideraron los 16 sectores de la rosa de vientos. Los datos utilizados son:

- Altura Efectiva de Descarga

CAE: 10 m

CNAI: 40 m

CNE: 60 m

- Distancia del punto de descarga al de evaluación

Para cada sitio de emplazamiento se emplearon 3 distancias: 0,3 km, 1 km y 5 km.

- Rosa de Vientos

CAE: Base meteorológica actualizada del archivo EZEIZA.MET (detallada en el punto 2.2 de este trabajo)

CNAI: ATUCHALO.MET. Los datos de este archivo son aplicables a escala local, para el grupo crítico y la zona circundante (hasta una distancia de 10 km desde el punto de emisión de la central). Proviene de los registros meteorológicos de la Central Nuclear Atucha, correspondientes al año 1996 [3].

CNE: EMBALSE.MET. Los datos de este archivo son datos regionales interpolados a la escala local, puesto que al momento de realizarse el archivo no se contaba con datos locales, y provienen de la base de datos generada por el programa PC-COSYMA [3].

- Rugosidad del terreno: 0,3 m para los 3 sitios. Este valor es el recomendado en [2] para áreas agrícolas.

- Esquema de categorías de estabilidad: Pasquill (consistente con los archivos .MET empleados).

Una vez ingresados los datos se realizaron las corridas. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

4.2 Resultados

Los factores de dilución F_d obtenidos mediante el programa PC CREAM en cada uno de los 48 puntos de evaluación asociados al CAE se muestran en la Figura 1, mientras que las Figuras 2 y 3 presentan los correspondientes a la CNAI y la CNE.

A partir de las figuras se puede observar la disminución del factor de dilución con la distancia y su fluctuación de acuerdo a las direcciones del viento, representadas por cada uno de los 16 sectores. Los máximos son consistentes con las direcciones de viento más frecuente de cada sitio.

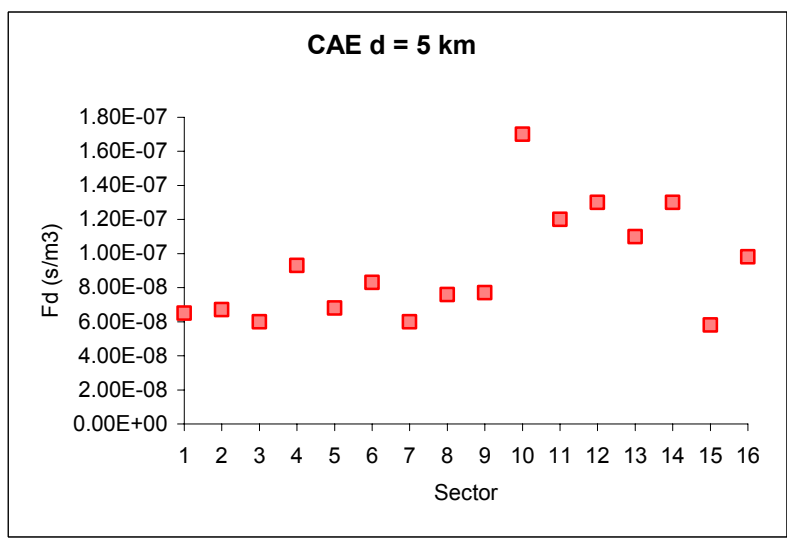
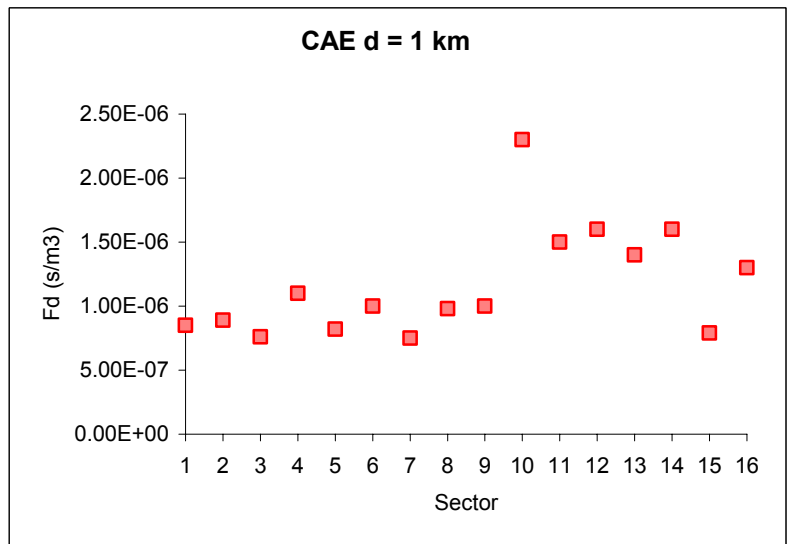
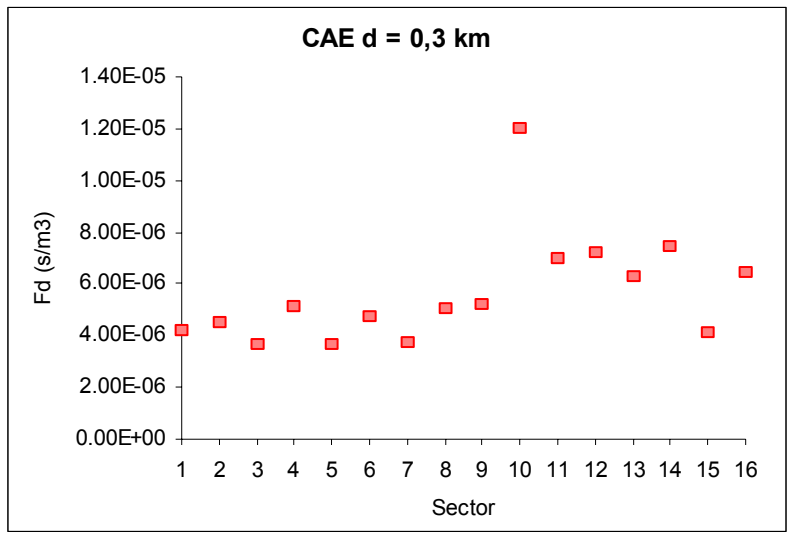


Figura 1. Factores de Dilución para el CAE, en 3 distancias distintas discriminadas en los 16 sectores de la rosa de vientos.

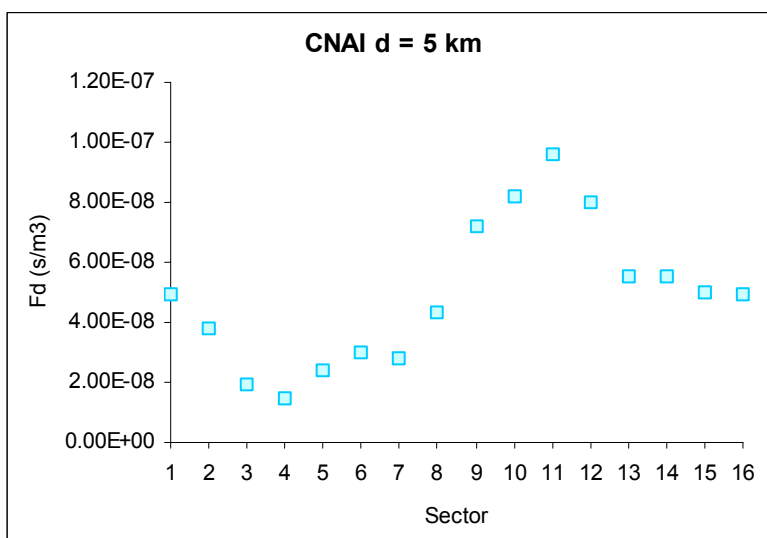
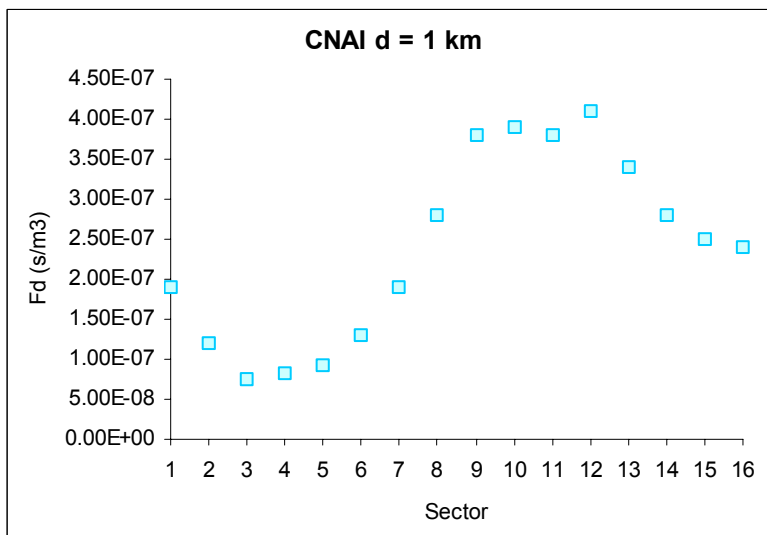
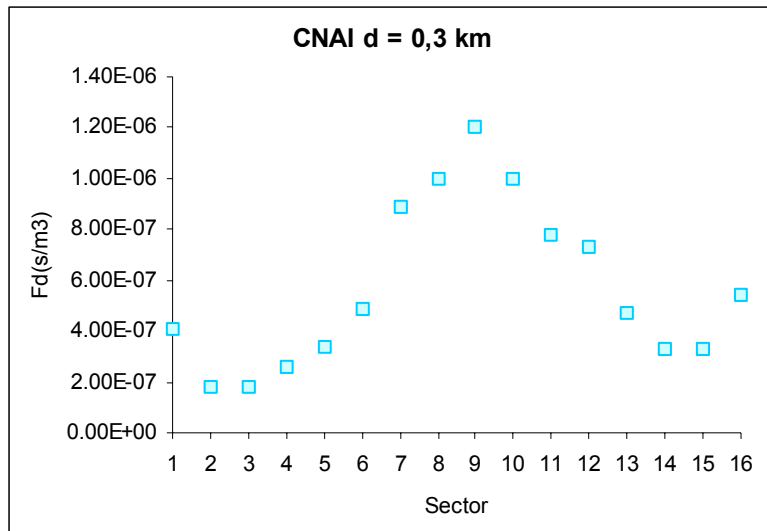


Figura 2. Factores de Dilución para la CNAI, en 3 distancias distintas discriminadas en los 16 sectores de la rosa de vientos.

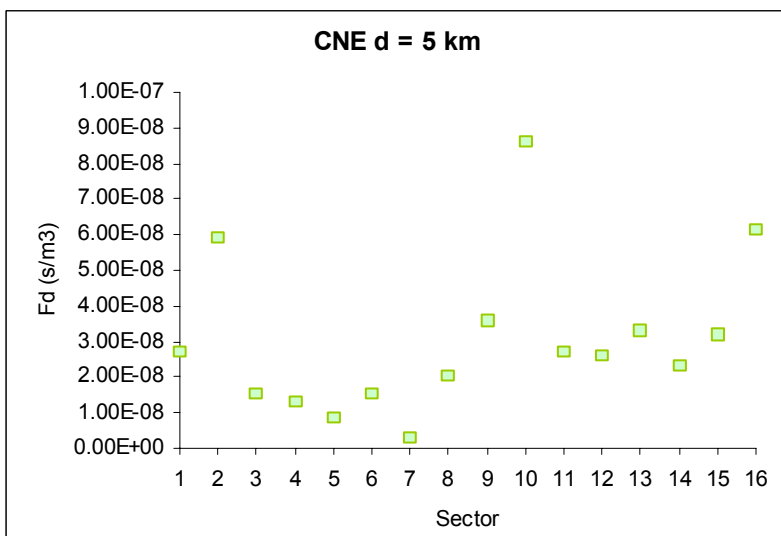
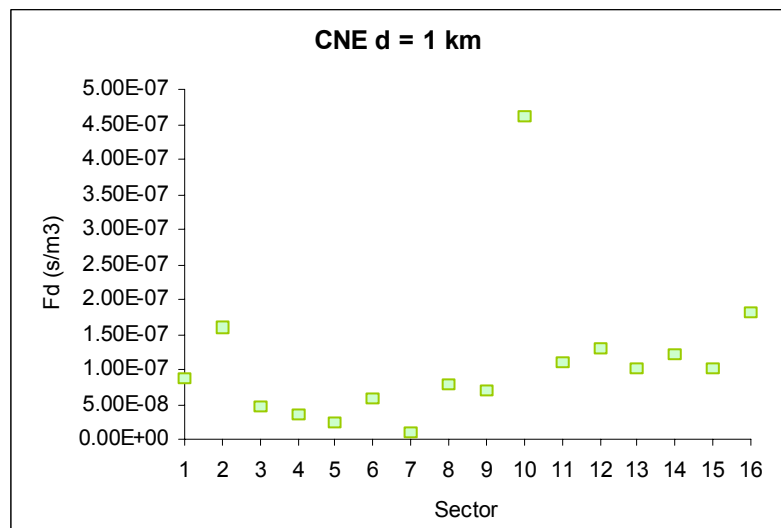
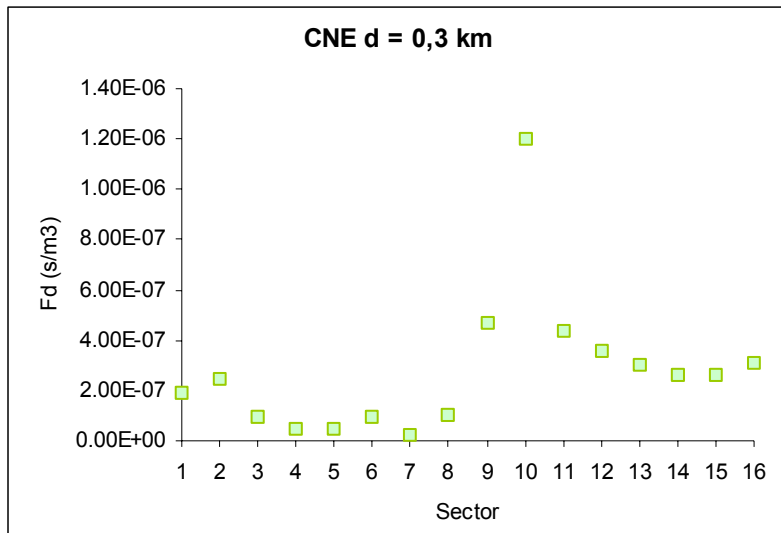


Figura 3. Factores de Dilución para la CNE, en 3 distancias distintas discriminadas en los 16 sectores de la rosa de vientos.

5. COMPARACIÓN CON FACTORES DE DILUCIÓN PREVIOS

Existen valores previos de los factores de dilución anuales provenientes de los estudios micro-meteorológicos del emplazamiento del CAE [7] y de las dos centrales nucleares, [8] y [9]. Los tres estudios fueron realizados por Berri, G. y Robbio, C., empleando la misma metodología. Las principales diferencias entre dicha metodología y la utilizada por el PC CREAM se presentan brevemente en el punto 5.1. Los resultados de ambas estimaciones se comparan gráficamente en el punto 5.2 y se analizan en 5.3.

5.1 Comparación de los modelos

La metodología utilizada por Berri, G. y Robbio, C. para estimar los factores de dilución anuales se basa en la expresión de la concentración unitaria dada en [10] para emisiones continuas que se suponen distribuidas por el viento de acuerdo con la distribución anual de frecuencias en las distintas condiciones meteorológicas. Por lo tanto depende de parámetros tales como la distancia entre el punto de evaluación y el de descarga, la altura efectiva, los coeficientes de dispersión, la velocidad a la altura de la descarga y la frecuencia para la clase de estabilidad, dirección y velocidad. La expresión empleada por el programa PC CREAM [1] para estimar la concentración en aire no difiere substancialmente de la de Berri, G. y Robbio, C., sin embargo hay diferencias en los parámetros utilizados. Algunas de estas son [2], [7], [8] y [9]:

- La expresión utilizada por el programa PC CREAM considera 8 clases de estabilidad en el esquema de Pasquill: A, B, C, D, E y F sin lluvias y C y D con lluvias; mientras que Berri, G. y Robbio, C. tomaron las 6 clases de Pasquill sin lluvias.

- La velocidad a la altura de la descarga empleada por el programa PC CREAM se calcula para cada clase de estabilidad a partir de la velocidad característica de esa clase y teniendo en cuenta un índice asociado a la rugosidad del terreno. Donde las velocidades características de las clases de estabilidad de Pasquill A, B, C, D, E y F son 1, 2, 5, 5, 3 y 2 m/s respectivamente.

Berri, G. y Robbio, C. en cambio, dividieron la velocidad del viento en 8 intervalos caracterizados por: 1, 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 7, 9 y 11 m/s respectivamente.

- Las frecuencias empleadas por el programa PC CREAM difieren de las de los trabajos de Berri, G. y Robbio, C. puesto que en cada caso son consistentes con las clases de estabilidad y las velocidades a la altura de la descarga consideradas.

- Los coeficientes de dispersión empleados en el programa PC CREAM surgen de aproximaciones lineales y cuadráticas de los coeficientes estimados gráficamente por Pasquill mientras que Berri, G. y Robbio, C. los calculan por medio de las fórmulas recomendadas por Briggs.

5.2 Comparación de los Resultados

En las Figuras 4, 5 y 6 se comparan los factores de dilución F_d estimados con el PC CREAM y los calculados por Berri, G. y Robbio, C. en los trabajos [7], [8] y [9]. Para esto se estudió la correlación representando a los primeros en el eje y, y a los segundos en el eje x del mismo gráfico, junto con la recta esperable si los valores obtenidos por ambos métodos fueran iguales.

En las figuras mencionadas se puede observar que los puntos presentan una dispersión importante y se apartan de la recta considerada ideal. Por lo tanto, no es posible afirmar que exista una correlación lineal entre los factores de dilución estimados con el PC CREAM y los obtenidos por Berri, G. y Robbio, C. en los trabajos [7], [8] y [9].

La diferencia entre ambas estimaciones queda evidenciada también en la Figura 7. Esta muestra la diferencia relativa porcentual de los factores de dilución estimados con el PC CREAM, respecto de los dados por Berri, G. y Robbio, C. en cada instalación. Donde la diferencia porcentual está definida como:

$$\%DR = \frac{F_{dPCCREAM} - F_{dBerryRobbio}}{F_{dBerryRobbio}} \times 100$$

Solo fueron graficados los puntos con una diferencia relativa de entre -100% y 100%, respecto de los valores dados por los autores citados. Estos puntos representan el 94% de los 48 factores de dilución estimados con el PC CREAM para el CAE, el 100% para la CNAI y el 83% para la CNE. Por otro lado, el porcentaje de puntos con una diferencia relativa de entre -50% y 50% es de 77% para el CAE, 65% para la CNAI y 40% para la CNE. Finalmente, el porcentaje de puntos con una diferencia porcentual positiva es de 56% para el CAE, 17% para la CNAI y 27% para la CNE; mientras que los porcentajes de puntos con diferencia porcentual negativa son respectivamente 38%, 83% y 56%. Los porcentajes mencionados para cada instalación se muestran, a modo de resumen, en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de puntos para las tres instalaciones y distintas diferencias relativas porcentuales de los factores de dilución estimados con el PC CREAM respecto de los dados por Berri y Robbio. El 100% de los puntos para cada instalación es 48, que corresponde a la cantidad de factores de dilución estimados.

Porcentaje de puntos con:	CAE	CNAI	CNE
DR entre -100% y 100%	94	100	83
DR entre -50% y 50%	77	65	40
DR positiva	56	17	27
DR negativa	38	83	56

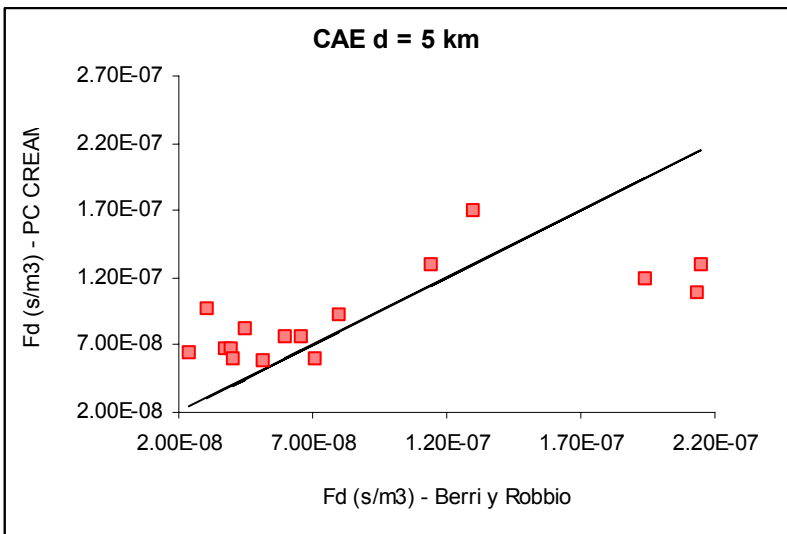
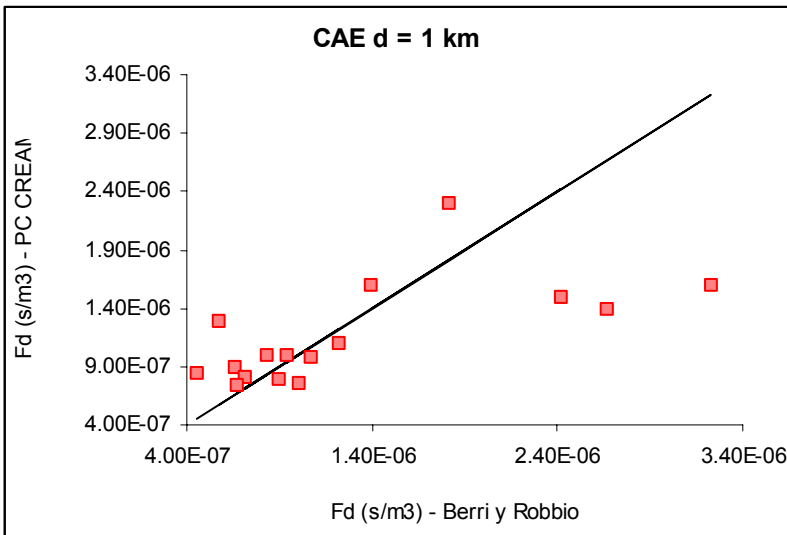
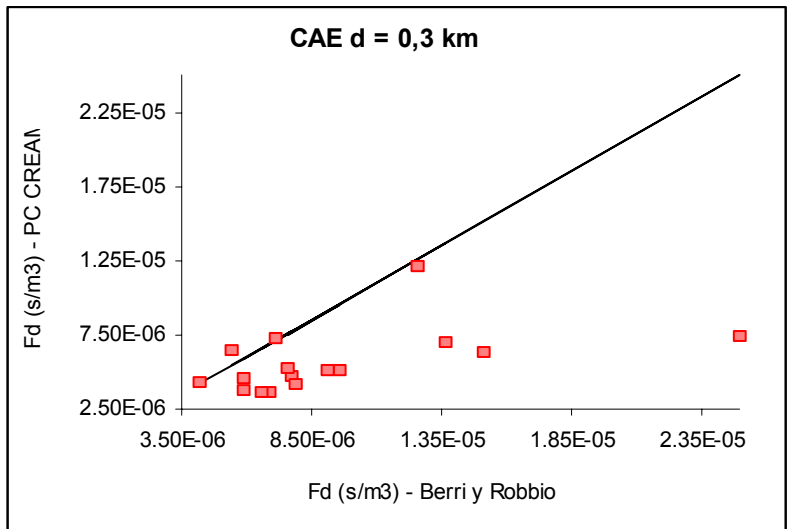


Figura 4. Comparación de los factores de dilución obtenidos empleando el PC CREAM, con los calculados en el trabajo [7] de Berri, G. y Robbio, C. para el CAE.

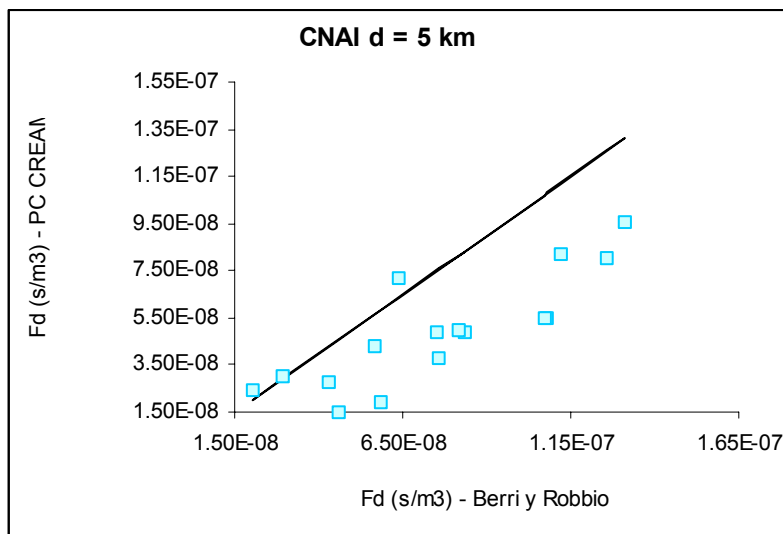
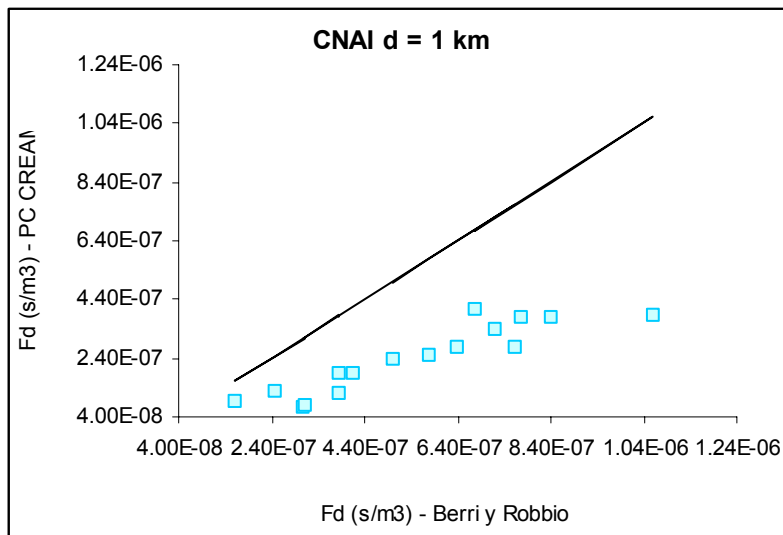
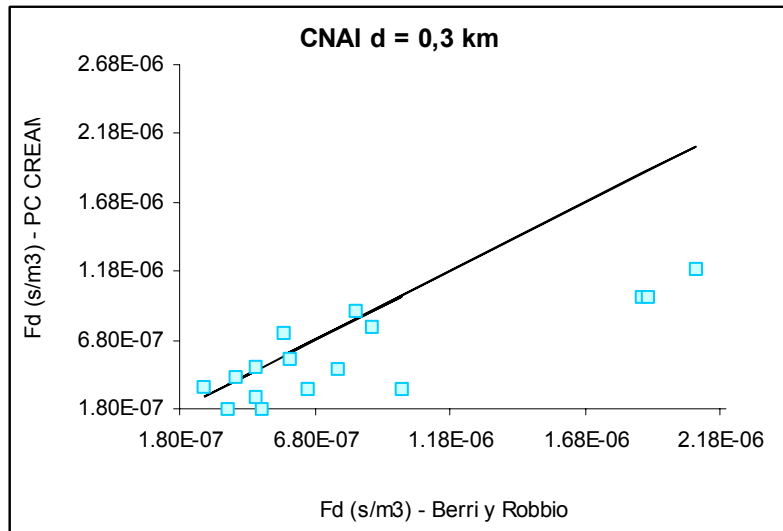


Figura 5. Comparación de los factores de dilución obtenidos empleando el PC CREAM, con los calculados en el trabajo [8] de Berri, G. y Robbio, C. para la CNAI.

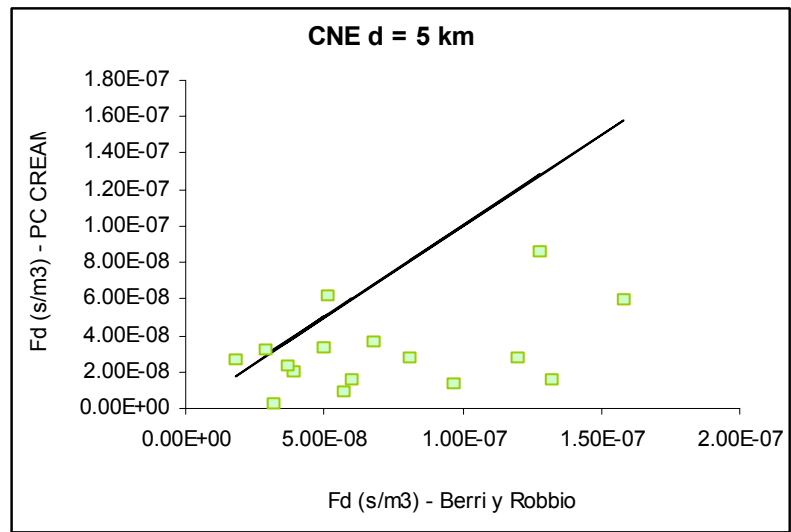
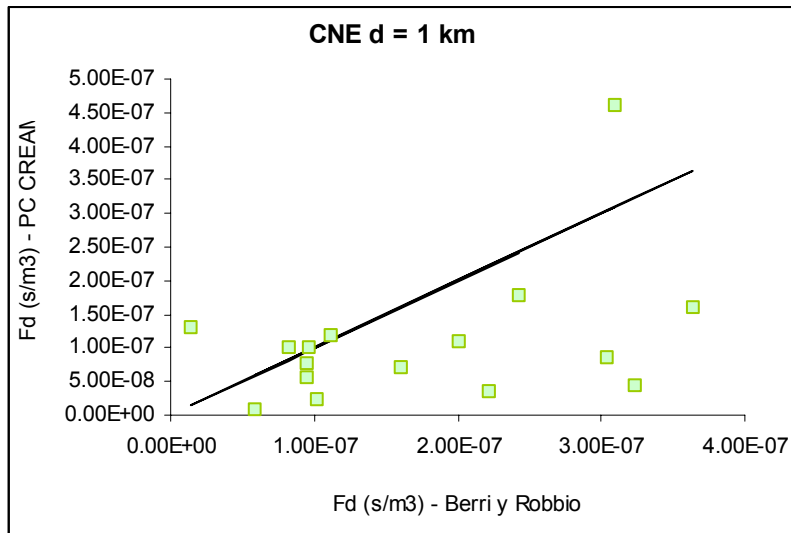
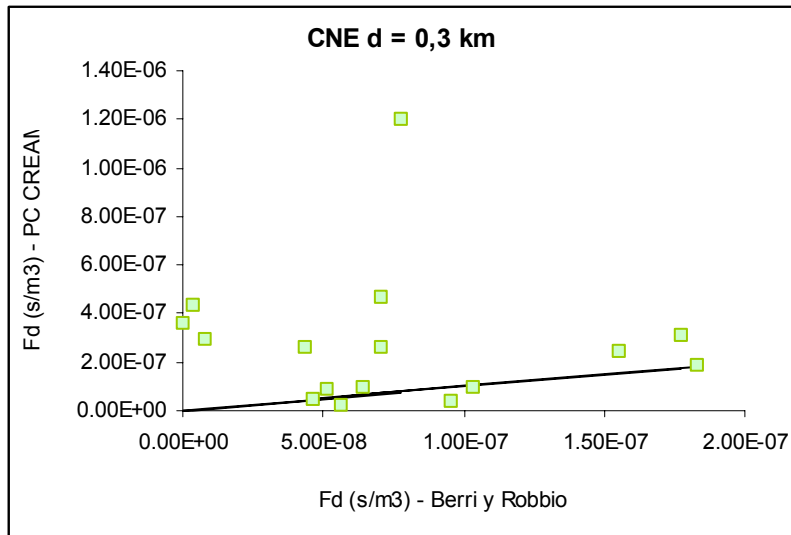


Figura 6. Comparación de los factores de dilución obtenidos empleando el PC CREAM, con los calculados en el trabajo [9] de Berri, G. y Robbio, C. para la CNE.

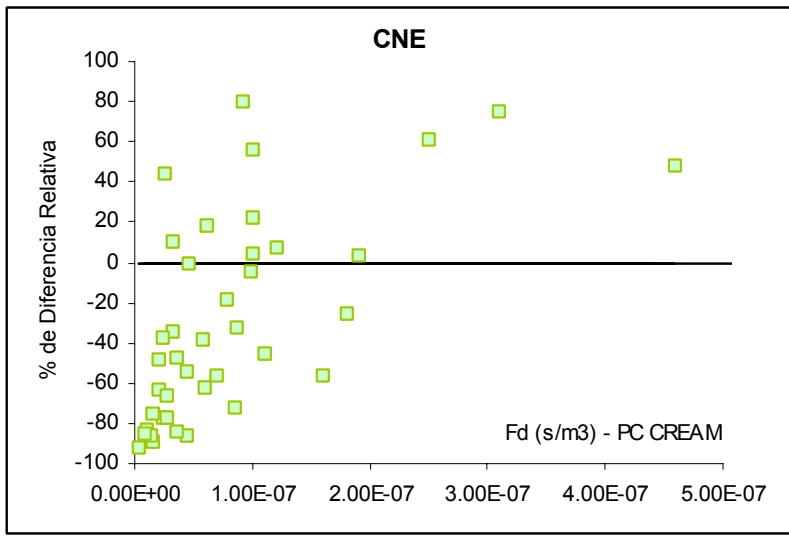
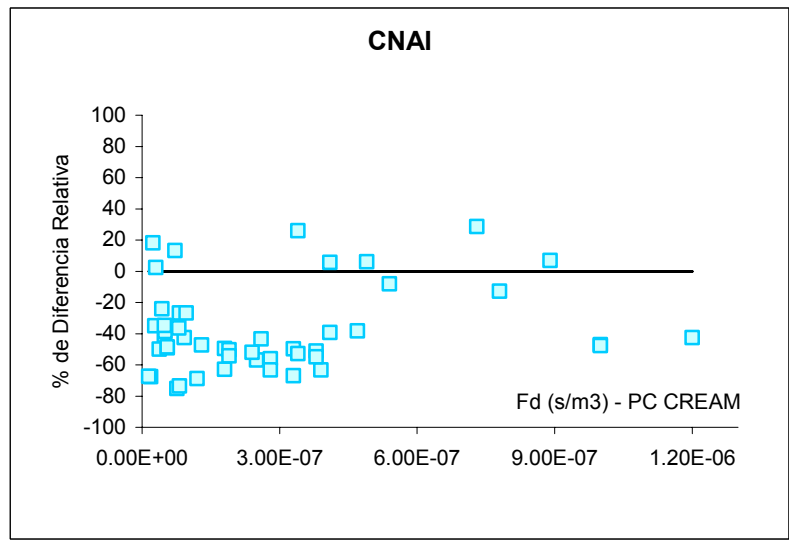
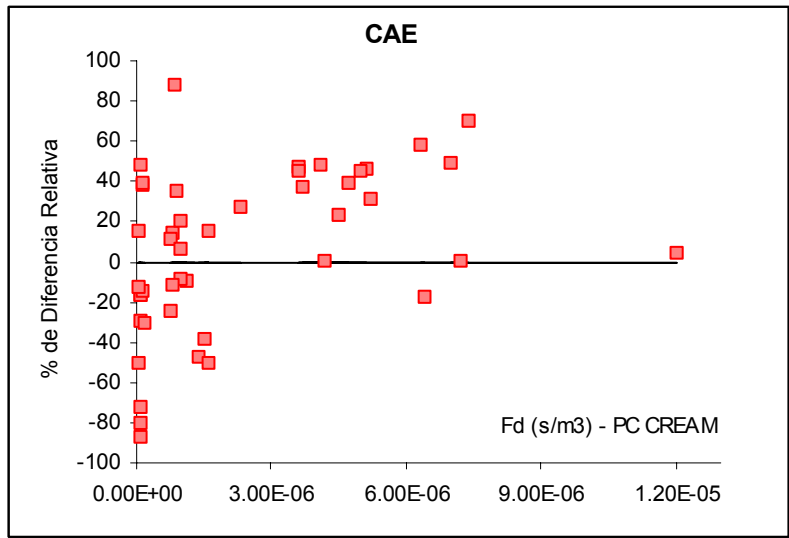


Figura 7. Porcentaje de Diferencia Relativa para los factores de dilución estimados con el PC CREAM, respecto de los estimados por Berri, G. y Robbio, C. en cada sitio

5.3 Análisis de los resultados

Las bases meteorológicas empleadas por Berri, G. y Robbio, C. corresponden a datos obtenidos en las estaciones micrometeorológicas del CAE y de la CNAI, durante el año 1979, y en la de la CNE en el período 1979-1981.

Los datos meteorológicos utilizados en este trabajo son, como fue indicado en el punto 4.1, los contenidos en los archivos EZEIZA.MET, ATUCHALO.MET y EMBALSE.MET. El primero fue confeccionado a partir de la información provista por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondiente a la Estación Meteorológica Ezeiza durante el período 1996-2005 y el segundo contiene los registros meteorológicos de la CNAI del año 1996. El archivo de la CNE proviene de la base de datos generada por el programa PC-COSYMA, ya que al momento de su confección no se disponía de datos locales [3]. Por lo tanto, en la zona de Embalse, fue necesario emplear datos regionales, interpolados y rellenados de acuerdo a consideraciones climatológicas [11].

Las bases meteorológicas del CAE son las que presentan mayores diferencias entre sí. Esto se debe a que los datos fueron tomados con 17 años de diferencia y a que la cantidad de registros del trabajo de referencia es mucho menor a la considerada por el SMN. Sin embargo, a partir de la Tabla 3, se puede ver que el mayor porcentaje de puntos con diferencia relativa porcentual entre -50% y 50% se da en el caso del CAE. Por lo tanto, la utilización de datos meteorológicos distintos no parece ser un factor de peso en la discrepancia entre los factores de dilución estimados en este trabajo y los de referencia.

Existen además diferencias asociadas a la metodología empleada para calcular los factores de dilución a las que se podría atribuir la falta de similitud entre los resultados. Estas fueron descriptas brevemente en el punto 4.1.

Entonces, dado que las estimaciones de los factores de dilución difieren tanto en los datos meteorológicos como en los parámetros utilizados en la expresión para determinar la concentración unitaria en aire, es esperable la discrepancia entre los resultados presentados en este trabajo y los de referencia [7], [8] y [9].

7. CONCLUSIONES

En la primer parte de este trabajo se confeccionó e incorporó a las bibliotecas del programa PC CREAM el archivo EZEIZA.MET con la base meteorológica actualizada aplicable a la zona del Centro Atómico Ezeiza. Para ello se emplearon los datos de la Estación Meteorológica Ezeiza, período 1996-2005, provistos por el Servicio Meteorológico Nacional.

En la segunda parte se presentó una metodología para estimar el factor de dilución atmosférico en un punto aplicando el módulo PLUME del programa PC CREAM, desarrollado por la Nacional Radiological Protection Board (NRPB) y la Unión Europea.

Se aplicó la metodología presentada para estimar el factor de dilución atmosférico en puntos cercanos al Centro Atómico Ezeiza y a las dos centrales nucleares argentinas. En el primer caso se empleó el archivo con la base de datos meteorológicos generado, mientras que para las centrales se utilizaron los archivos ya existentes.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con los de trabajos previos. Se observó que si bien son del mismo orden, existen diferencias que podrían explicarse debido al empleo de bases meteorológicas y parámetros de los modelos distintos.

No obstante las diferencias encontradas, la metodología presentada resulta una herramienta sumamente útil ya que estima los factores de dilución en forma simple y sistematizada, a la vez que permite la actualización de los datos meteorológicos empleados en las estimaciones.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea agradecer al Servicio Meteorológico Nacional, por los datos brindados, y a Héctor Bruno y Adriana Curti, por sus valiosos comentarios y sugerencias acerca del presente trabajo.

REFERENCIAS

1. Simmonds, J.R.; Lawson, G. and Mayali, A. A Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Releases of Radionuclides to the Environment, EUR 15760 EN, European Commission, Luxembourg, 1995.
2. National Radiological Protection Board. Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology (PC-CREAM 97), NRPB-SR296, Chilton, 1997.
3. Huggenberger, D. Bases de Datos Meteorológica para el PC CREAM (no editado).
4. Quintana, E. y Gavini, R. Aspectos ambientales de la eliminación de tritio en las centrales nucleares argentinas, 5th Regional Congreso on Radiation Protection and Safety, Brasil, 2001.
5. Curti, A. y Alonso Jiménez, M. Dosis en la población. Comparación de los resultados del código CREAM con resultados de modelos vigentes en la ARN, 5th Regional Congreso on Radiation Protection and Safety, Brasil, 2001.
6. Bruno, H.; Curti, A.; López, F. y Quintana, E. Actualización de los Ki de la Central Nuclear Atucha I. Informe de Trabajo RN-IT-012/04, Buenos Aires, Argentina, 2004.
7. Berri, G.A. y Robbio, C.A. Estudio Micrometeorológico del Emplazamiento del Centro Atómico Ezeiza, CNEA-NT31/86, Buenos Aires, Argentina, 1986.
8. Berri, G.A. y Robbio, C.A. Estudio Micrometeorológico del Emplazamiento de la Central Nuclear en Atucha, CNEA-NT32/86, Buenos Aires, Argentina, 1986.
9. Berri, G.A. y Robbio, C.A. Evaluación Meteorológica del Emplazamiento de la Central Nuclear Embalse Período 1972-1981, CNEA-NT5/83, Buenos Aires, Argentina, 1983.
10. OIEA. Dispersión atmosférica en relación con el emplazamiento de centrales nucleares. OIEA N° 50, SG-S3, 1982.
11. Salles, M.A. y Huggenberger, D.A. Informe General de la Configuración de la Base de Datos de Población de las Centrales Nucleares Atucha y Embalse para el programa PC-COSYMA, Buenos Aires, Argentina, 1999 (no editado).