

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL QUÍMICO

APLICACIÓN DE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

Jorge A. Cabrera Fernández

Profesor Guía:
José Torres T.

2012

RESUMEN

Los modelos de dispersión atmosférica, han tenido importancia mundial para el control e implementación de redes de monitoreo o control de emisiones a nivel industrial. SCREEN3 es un modelo de dispersión de tipo gaussiano, que entrega resultados de dispersión atmosférica, tales como: Máxima concentración, altura de pluma, parámetros de dispersión verticales y laterales, frente a distintas posibilidades de escenarios, tales como: cercanía al mar, distintas estabildades atmosféricas o terrenos complejos, por nombrar algunos. En base a lo anterior, se explican los distintos aspectos del modelo, sus posibilidades de entradas y salidas, conceptos básicos, especificación de los valores de variables y parámetros, ecuaciones y descripciones técnicas, además de la ejecución del modelo en cada uno de los diferentes escenarios que soporta el modelo de dispersión, comparando, evaluando y analizando cada uno de los resultados conseguidos. Las modelaciones no solo se realizan con datos ficticios, ya que se presenta una modelación con datos reales de fuente puntual en el Valle de La Calera, comparando sus resultados con las normas chilenas de calidad de aire.

Los resultados de las modelaciones sugieren la necesidad de intervenir en el funcionamiento del SEIA para asegurar que los modelos de dispersión atmosférica se utilicen de acuerdo a lo exigido en la ley, que tengan un uso justificado y aplicado correctamente. Esto requiere además, la implementación y mantención de procesos que desarrollen el conocimiento y competencia en evaluadores, analistas y tomadores de decisiones acerca del estado del arte en cuanto a la modelos de dispersión. Por otra parte, es necesario asignar responsabilidades legales para quienes participan en la preparación de Estudios de Impacto Ambiental.

INDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1	Atmósfera y Contaminantes.....	3
2.2	Detalle Contaminantes Primarios.....	5
2.3	Dispersión Atmosférica de Contaminantes en el Aire.....	7
2.4	Modelación.....	9
2.5	Modelación Atmosférica.....	12
2.6	Tipos de Modelos.....	14
2.7	Modelo Gaussiano de Dispersión.....	16
2.8	Requisitos de los datos de entrada de los modelos de Dispersión de tipo Gaussiano.....	24
2.9	Selección y evaluación de modelos.....	26
2.10	Uso de Modelos Gaussianos desde la perspectiva Internacional.....	27
2.11	Criterios básicos para una modelación de dispersión atmosférica de calidad.....	32
3	OBJETIVOS.....	35
3.1	Objetivo General.....	35
3.2	Objetivos Específicos.....	35
4	MODELO SCREEN3.....	37
4.1	Fuentes de Punto.....	42
4.2	Liberaciones por Incineración.....	42
4.3	Fuentes de Área.....	44
4.4	Fuentes Volumétricas.....	44
4.5	Opción de Terreno Complejo.....	46

4.6	Meteorología.....	47
4.7	Fumigación.....	50
4.8	Concentraciones Máximas para Promedios de Corto y Largo Plazo.....	52
4.9	Salidas.....	53
5	MODELACIÓN.....	56
5.1	Modelación Ficticia y Comparativa.....	56
	5.1.1 <i>Análisis de los Resultados Obtenidos</i>	67
5.2	Modelación con Datos Reales.....	69
	5.2.1 <i>Fuente Fija</i>	70
	5.2.2 <i>Terreno de Trabajo</i>	71
	5.2.3 <i>Resultados</i>	78
	5.2.4 <i>Resultados de la Pluma</i>	78
	5.2.5 <i>Resultados de Concentraciones para Terreno Simple</i>	79
	5.2.6 <i>Concentraciones de Terrenos Complejos</i>	85
	5.2.7 <i>Análisis de los Resultados</i>	94
6	CONCLUSIONES.....	96
7	PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES.....	99
8	REFERENCIAS.....	100
	ANEXOS.....	103
	ANEXO A: Especificación de Algunos Modelos	
	Dispersión Atmosférica.....	104
	ANEXO B: Manual de Operación de SCREEN3.....	109
	ANEXO C: Norma de Calidad Primaria para MP10.....	130
	ANEXO D: Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos.....	140

ANEXO E: Norma de Calidad Primaria para Ozono.....	149
ANEXO F: Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre.....	154
ANEXO G: Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Nitrógeno.....	161

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes Atmosféricos.....	8
Figura 2: Esquema de una modelación simple.....	9
Figura 3: Diagrama de flujo para una adecuada elección de un modelo.....	11
Figura 4: Diagrama de operación y conexiones entre los distintos módulos industriales.....	13
Figura 5: Progresión de la pluma en base a las turbulencias y parámetros de dispersión.....	17
Figura 6: Campana Gaussiana.....	18
Figura 7: Variación de σ	18
Figura 8: Cambios en la pluma respecto al tiempo transcurrido.....	19
Figura 9: Perfiles instantáneos, horizontales y promedios horarios de la concentración de la pluma.....	22
Figura 10: Representación física de las variables usadas en la ecuación principal de SCREEN3.....	38
Figura 11: Vista principal del programa SCREEN3.....	41

Figura 12: Representación de terreno complejo.....	46
Figura 13: Captura de las opciones meteorológicas en SCREEN3.....	48
Figura 14: Representación de Fumigación.....	50
Figura 15: Captura de las opciones de salida en SCREEN3.....	53
Figura 16: Mapa de la zona trabajada.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Normas Primarias de Calidad del Aire en Chile.....	4
Tabla 2: Coeficientes a,b,c y d, del método de Paquill respecto a la clase de estabilidad atmosférica.....	39
Tabla 3: Resumen de procedimientos sugeridos para estimar las dimensiones iniciales laterales σ_{y0} y las dimensiones iniciales verticales σ_{z0} para fuentes volumétricas.....	45
Tabla 4: Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad usadas en el modelo SCREEN3.....	47
Tabla 5: Factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo.....	53
Tabla 6: Comparación de concentraciones de pluma a distintas temperaturas de gas de salida.....	58
Tabla 7: Comparación de concentraciones de pluma a distintas velocidades de gas de salida.....	59
Tabla 8: Comparación de concentraciones de pluma a distintas alturas de chimenea.....	60
Tabla 9: Comparación de concentraciones de pluma a distintas tasas de emisión.....	61

Tabla 10: Comparación de concentraciones de pluma a distintas estabildades atmosféricas.....	63
Tabla 11: Máxima concentraciones y distancias de la fuente a diferentes velocidades eólicas, en una clase de estabilidad atmosférica C.....	66
Tabla 12: Datos de entrada para la modelación real.....	70
Tabla 13: Detalle de los terrenos complejos en la zona trabajada.....	72
Tabla 14: Detalle de las emisiones de SO ₂ y MP10 en la zona a modelar durante el año 2011.....	75
Tabla 15: Detalle de las emisiones de NO ₂ y O ₃ en la zona a modelar durante el año 2011.....	75
Tabla 16: Detalle de los valores máximos y promedios acumulados de los parámetros a modelar.....	77
Tabla 17: Detalle de los terrenos complejos en dirección de los vientos predominantes.....	85
Tabla 18: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para SO ₂ , suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011.....	86
Tabla 19: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para SO ₂ , suponiendo constante el valor promedio del año 2011.....	87

Tabla 20: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para MP10, suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011.....	88
Tabla 21: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para MP10, suponiendo constante el valor promedio del año 2011.....	89
Tabla 22: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para NO ₂ , suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011.....	90
Tabla 23: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para NO ₂ , suponiendo constante el valor promedio del año 2011.....	91
Tabla 24: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para O ₃ , suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011.....	92
Tabla 25: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para O ₃ , suponiendo constante el valor promedio del año 2011.....	93
Tabla 26: Comparación de la máxima concentración registrada durante el año 2011, con la Norma Chilena Ambiental.....	95

1. INTRODUCCIÓN

La atmósfera, como sistema complejo, ha sido intervenida por la acción del hombre desde tiempos remotos. Acciones que para algunos pueden ser insignificantes, como encender una fogata, la modifican y la contaminan. Desde la revolución industrial, el vertido de gases contaminantes a la atmósfera ha ido en incremento, incluso hasta estos días.

Las observaciones de concentraciones de distintas sustancias y condiciones termodinámicas de la atmósfera permiten la entrega de información sobre el comportamiento de la misma, no obstante, esta información no es suficiente, ya que no permiten la explicación ni identificación tanto de la atmósfera como los gases que forman parte de ella, ya sean gases propios de la misma o gases presentes por el resultado de dispersión desde fuentes industriales.

Los modelos matemáticos de predicción permiten una mejor comprensión de los diferentes fenómenos atmosféricos. Así, la combinación de observaciones y modelos atmosféricos son una vía que permite enfrentar este tipo de problemas y acercarse a entender la atmósfera.

La gestión de contaminación atmosférica, involucra tanto a las autoridades, organismos medioambientales e industriales, por nombrar algunos, los cuales frente a una contaminación puntual se hacen una serie de cuestionamientos como: ¿Cuál es la contribución de un proceso industrial, si emite diversas emisiones?, ¿Qué estrategias son apropiadas para reducir una contaminación gaseosa?, ¿Cuál será el efecto en la calidad del aire si modifico cierto proceso productivo?, ¿Dónde instalo una nueva fuente emisora para minimizar el impacto en la calidad del aire?. Los modelos de dispersión atmosférica permiten responder estas y otras interrogantes, aunque para ello es necesario que sean evaluados, de manera que sus respuestas o resultados sean una representación cualitativa y cuantitativa, respecto a la realidad de los fenómenos atmosféricos.

Hoy en día, nuestro país debe enfrentarse a problemas de contaminación, ya sean rurales o urbanos, que se concentran en la zona central. Algunos ejemplos de problemas atmosféricos son el material particulado respirable, smog fotoquímico (ozono y otros oxidantes), compuestos oxidados derivados del azufre, nitrógeno, etc. El manejo de estos problemas, requiere herramientas como los modelos de dispersión atmosféricas, entre otros. Por lo anterior, Chile ha hecho esfuerzos por establecer redes de monitoreo, inventario de emisiones, realizar campañas de conciencia y sensibilización, etc. Todo esto hace posible la implementación y aplicación de los modelos de dispersión atmosférica, ya sea de tipo gaussiano o de tipo regional.

Para la aplicación del modelo de dispersión atmosférica, se utilizará un modelo gaussiano, llamado SCREEN3, que realiza distintas modelaciones predictivas de dispersión atmosférica, en base a datos básicos de entrada, como fuente de emisión, velocidad de salida de gases, altura de chimenea, entre otros, frente a distintas opciones meteorológicas.

Primero se ahondará en explicar cada uno de los aspectos del modelo, desde opciones de entrada, conceptos básicos y descripciones técnicas; para luego modelar frente a escenarios ficticios, para demostrar la versatilidad del modelo, haciendo las pertinentes comparaciones en el resultado de la concentración al cambiar ciertos datos de entrada. Posteriormente, se presentará una modelación con datos reales, en el Valle de La Calera, considerando como fuente fija una chimenea industrial, que es una de las principales vías de dispersión atmosférica de contaminantes dentro de la comuna. Todo lo anterior es efectuado para dar sugerencias a los problemas en las revisiones sistemáticas de estudios de impacto ambiental y proposiciones de medidas para mejorarlos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Atmósfera y Contaminantes

La palabra atmósfera es el envoltorio mayoritariamente gaseoso que rodea a nuestro planeta, constituida principalmente por nitrógeno molecular (N_2) y oxígeno molecular (O_2), en proporciones aproximadas de 78% y 21%. El 1% está formado principalmente por argón, dióxido de carbono y otras especies en ínfimas cantidades llamadas trazas atmosféricas. Sin embargo, en los últimos siglos, la composición de la atmósfera se ha visto alterada por diversas actividades humanas, lo que ha provocado consecuencias sobre la calidad de vida de las personas, los ecosistemas en general y el sistema climático.

El aumento de la concentración en la troposfera (capa inferior de la atmósfera) de algunas trazas atmosféricas en algunas zonas del planeta, especialmente en las áreas urbanas, los efectos en la salud de la población y otros efectos sobre el medioambiente, han llevado a los gobiernos a realizar legislaciones para regular algunas trazas atmosféricas. Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas.

Los contaminantes primarios son un conjunto de trazas constituido por el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3), además de partículas totales en suspensión (PTS). En algunos casos, como Alemania, la legislación incluye también algunos metales pesados. Hay que tener en cuenta que estos contaminantes nombrados no son los únicos contaminantes existentes, pero sí son aquellos que internacionalmente la gestión

ambiental ha dado mayor atención, regulando sus concentraciones máximas permisibles en la atmósfera.

En la Tabla 1 se presentan las Normas Primarias de Calidad del Aire en Chile y la máxima concentración permitida. Dichas normas tienen como objetivo proteger la salud de la población chilena y se aplican en todo el país por igual.

Tabla 1: Normas Primarias de Calidad del Aire en Chile

Contaminante	Norma (Media)	Unidad	Período de Evaluación
PM10	150	ug/m ³ N	Diario
	50	ug/m ³ N	Anual
Dióxido de Azufre	250	ug/m ³ N	Diario
	80	ug/m ³ N	Anual
Ozono	120	ug/m ³ N	8 horas
	60	ppb	
Monóxido de Carbono	30	mg/m ³ N	1 hora
	26	ppm	
	10	mg/m ³ N	8 horas
	9	ppm	
Dióxido de Nitrógeno	100	ug/m ³ N	Anual
	400	ug/m ³ N	1 hora
Plomo	0,5	ug/m ³ N	Anual

2.2 Detalle Contaminantes Primarios

El monóxido de carbono (CO) es un gas venenoso, incoloro, sin sabor ni olor. Se genera como producto de desecho en la combustión incompleta del carbón, madera, aceite y otros combustibles productos del petróleo (por ejemplo, gasolina, propano, etc.). El gas CO, aunque no tiene olor en sí, generalmente ocurre en combinación con otros gases producto de la combustión que sí tienen olores característicos. La fuente principal de gas CO son los motores de combustión interna. El gas CO también se genera en operaciones industriales tales como reparación de automóviles, refinación del petróleo y manufactura de acero y productos químicos.

El SO₂ es un gas incoloro e inodoro en bajas concentraciones, con un característico olor asfixiante cuando se encuentra en elevadas concentraciones. Se produce durante la combustión de combustible fósiles, que contengan azufre como son el carbón y el petróleo y en varios procesos industriales, como son la fundición de metales no ferrosos, y la conversión de pulpa en papel, entre otros.

Cuando el SO₂ y los oxidantes fotoquímicos presentes en la atmósfera reaccionan, se forma trióxido de azufre (o anhídrido sulfúrico), el que al combinarse con agua forma ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto contribuye a la formación de lluvia ácida y al aumento de los niveles de material particulado respirable.

El NO₂ es un gas de color marrón claro que se produce directa e indirectamente en la quema de combustibles fósiles a altas temperaturas en plantas termoeléctricas o vehículos. Este gas se combina con compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar para formar ozono, por lo que también es considerado precursor de smog fotoquímico.

El ozono es un gas que se forma mediante una serie de complejas reacciones, antes mencionadas, en la atmósfera. La concentración de ozono

existente depende de varios factores, entre los que destacan la cantidad de NO_2 , cantidad y tipo de COV, intensidad de la radiación solar y otras condiciones climáticas. Cabe destacar que el ozono producido naturalmente en la estratósfera (capa de ozono) cumple con la función de proteger a la tierra y sus seres vivos de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, por lo que su beneficio para la protección de la salud de las personas y el medio ambiente resulta indiscutible. El ozono que produce efectos nocivos es el que se encuentra al nivel de la tropósfera.

2.3 Dispersión Atmosférica de Contaminantes en el Aire

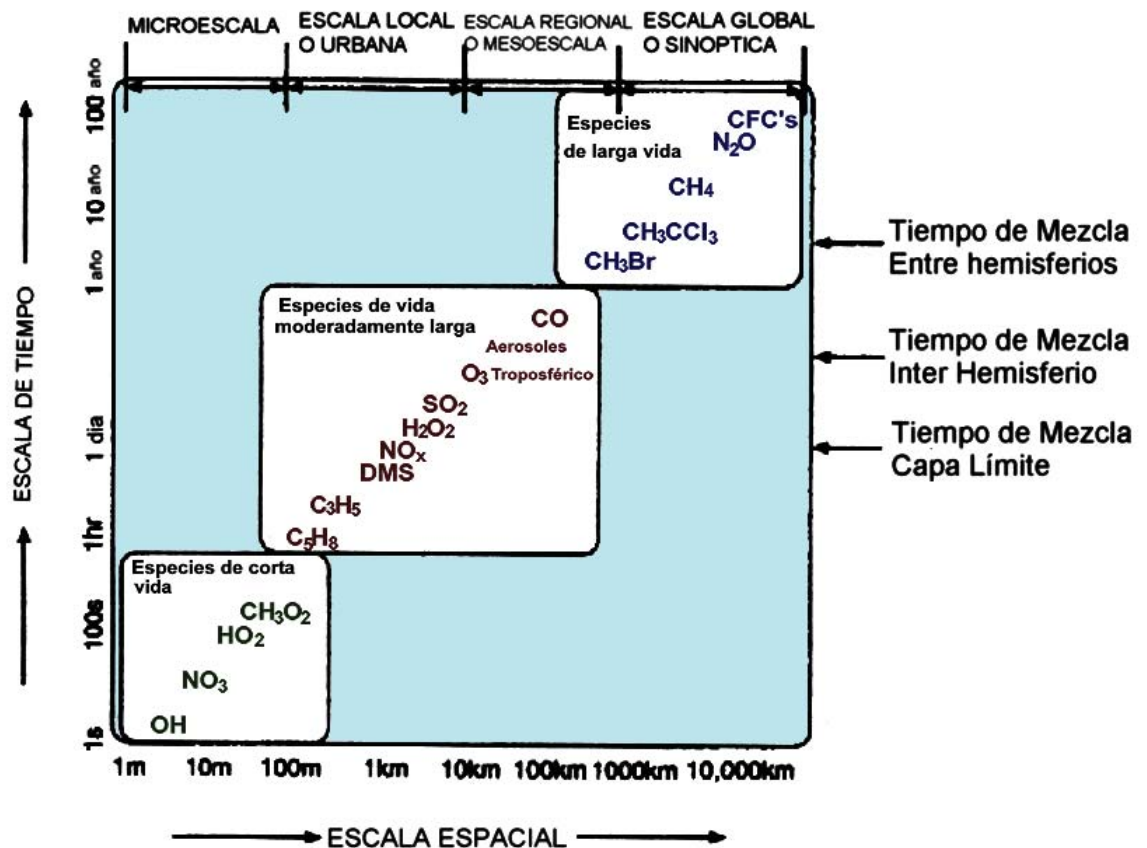
La dispersión de contaminantes en la atmósfera sigue los mismos principios físicos de mezclado de otros fluidos como el agua en un río. Cuando una descarga vertical de aire caliente es lanzada a la atmósfera libre donde existe un viento permanente, esta subirá primero y posteriormente viajará con el viento. Este proceso diluye los contaminantes y los aleja de la fuente. Al mismo tiempo que la pluma o penacho (descarga visible de contaminante) se desplaza desde la fuente, el proceso de mezcla atmosférico y turbulencia producen que la pluma se extienda o disperse en ambas direcciones (lateral y vertical). La difusión molecular juega un papel menor en la dispersión de contaminantes y generalmente no es considerado.

A la vez que la pluma se aleja de la fuente emisora (arrastrada por el viento), la altura final de la línea central de la pluma alcanza un valor basado en la flotación termal (debido a la temperatura de descarga) y al momentum (debido a la velocidad de la descarga vertical) de la descarga de la chimenea. Por lo tanto, una descarga alcanzará mayor altura si mayor es su temperatura, y una descarga con una velocidad inicial vertical alta subirá a mayor altura que una descarga con una velocidad inicial baja. Si la temperatura de la descarga es cercana a la temperatura del aire y su velocidad de descarga es muy baja (a menos de 2 m/s), la pluma no subirá significativamente por la punta de la chimenea.

El transporte de la pluma depende de la corriente de aire o viento, y la definición de viento requiere varios parámetros como su velocidad, dirección, altura del viento y el tiempo promediado. La velocidad y dirección del viento están normalmente medidas a una altura de diez metros sobre el nivel del terreno. La velocidad del viento se mide usando un anemómetro y la dirección usando una veleta.

La dispersión de la pluma ocurre como resultado de la mezcla atmosférica y la turbulencia, que son el resultado de factores termales y mecánicos. La energía del sol es absorbida por la tierra y convertida en calor que se irradia entonces en los niveles más bajos de la atmósfera por conducción y convección creando remolinos térmicos y turbulencias. Generalmente, las condiciones más turbulentas ocurren durante los periodos de velocidad del viento de baja a moderada y con intensa radiación solar (tardes). Las condiciones atmosféricas sumamente estables ocurren durante las noches claras con poco viento y pueden mantener los contaminantes cerca de la tierra y en las cercanías de la fuente de descarga, produciendo concentraciones altas de contaminantes en la pluma. Las máximas concentraciones de contaminantes se localizarán en los límites del área abarcada y cercana a la fuente de descarga.

Figura 1: Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos

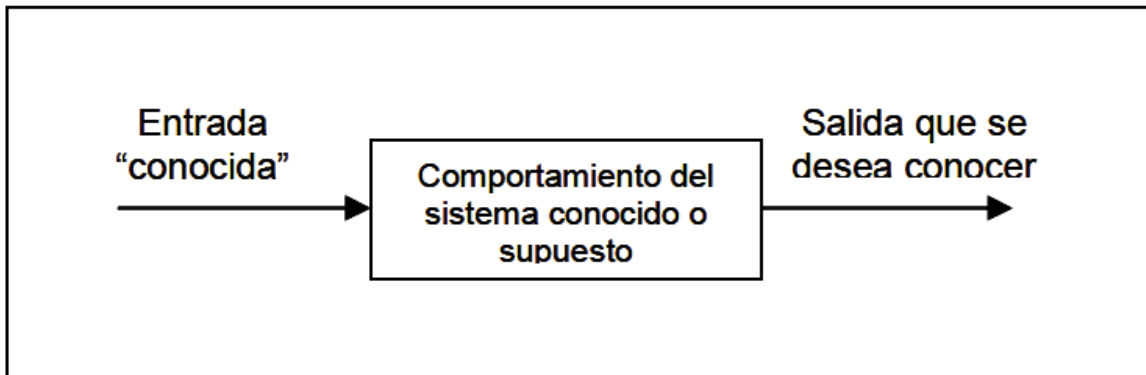


Fuente: Adaptado de Brasseur, 1999.

2.4 Modelación

En las últimas décadas, la modelación se ha convertido en una herramienta de gran éxito en diversas disciplinas para descubrimiento y entendimiento de los procesos, y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones, usada en forma habitual por científicos e ingenieros. Por ejemplo, en sectores industriales, la modelación se utiliza para determinar los programas de producción, los niveles de inventario y los procedimientos de mantenimiento, para planificar la capacidad, requerimientos de recursos, procesos y otros. En general, la modelación permite determinar los resultados o predecir lo que podría ocurrir a un sistema a partir de un conjunto de datos de entrada, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Esquema de una modelación simple



La variedad de problemas ambientales que se pueden abordar mediante el desarrollo de modelos es enorme. Existen modelos para distintas tareas a plantear, ya sea tratamiento de aguas, optimización de las rutas para los camiones municipales de transporte de residuos sólidos, identificación de una localización óptima para el vertido de aguas residuales, y por supuesto, el modelamiento de la calidad del aire.

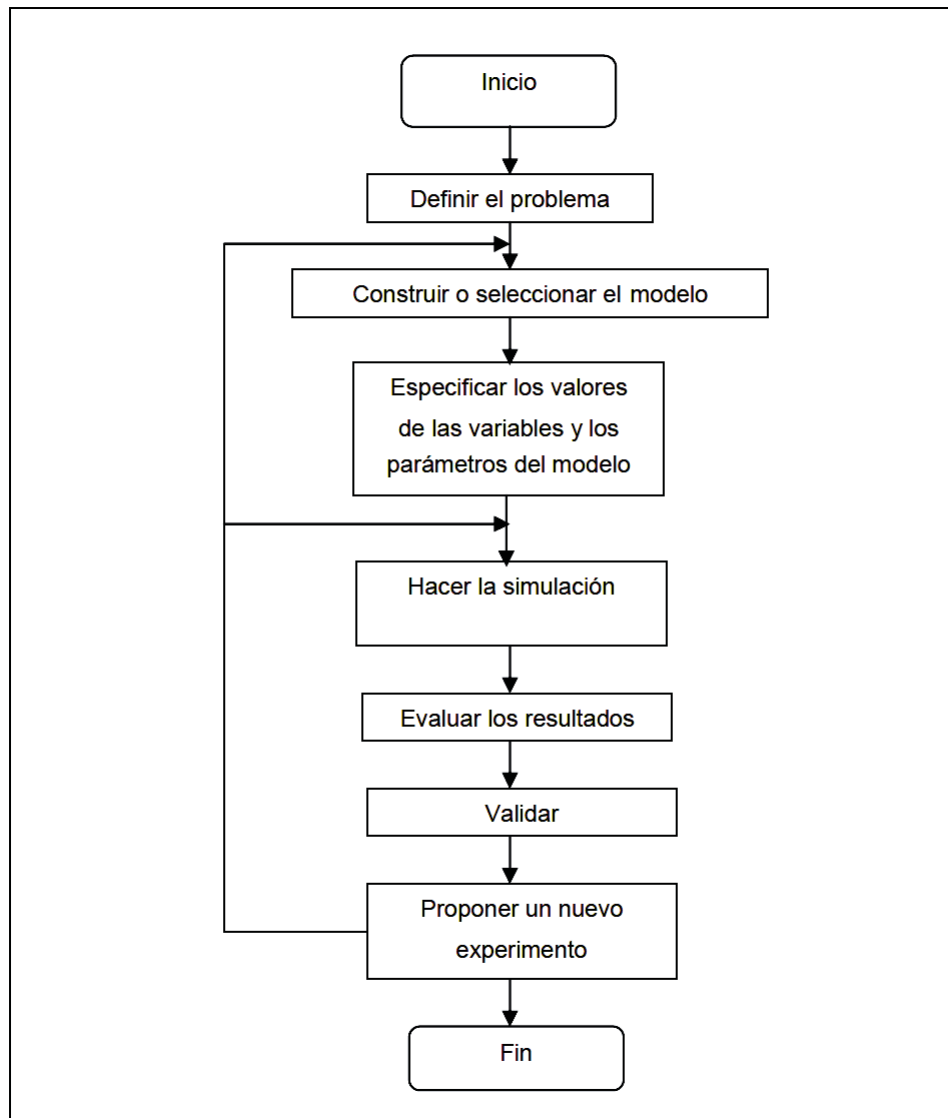
Basándonos en una modelación simple, supongamos que se desea modelar un contaminante descargado a la atmósfera a través de una chimenea.

Los datos de partida serán la altura de la chimenea, la tasa de emisión del contaminante, las condiciones meteorológicas, la topografía del terreno, las concentraciones basales, etc. Mientras que los resultados esperados serán los niveles del contaminante a una determinada distancia de la fuente o las tasas de deposición del contaminante sobre el terreno.

La sofisticación de un modelo depende en general del nivel de comprensión y entendimiento del sistema en sí. Es importante saber que algunas veces, no se comprende completamente el problema o el sistema no se encuentra bien definido, dando lugar a que el conocimiento y manejo del sistema de simulación sea incompleto. Por ejemplo, el estudio del movimiento de un contaminante en el aire puede verse dificultado debido al conocimiento incompleto de algunos de los parámetros de campo, tales como la conductividad hidráulica, la rapidez y dirección del viento o las reacciones químicas que afectan a los contaminantes en su trayecto, además que la mayoría de los problemas presentan condiciones que cambian con el tiempo o simplemente no tienen soluciones analíticas.

Para construir o seleccionar un modelo óptimo es necesario analizar y definir el problema, determinar que propiedades del sistema real permanecen fijas (parámetros) y cuáles pueden variar durante todo el funcionamiento del modelo (variables), para, a continuación, deducir, desarrollar o seleccionar una expresión matemática que describa el sistema. Esta expresión puede ser tan sencilla como una simple expresión algebraica o una ecuación diferencial o compleja como un conjunto de ecuaciones diferenciales y expresiones algebraicas. Luego de construir o seleccionar el modelo, es necesario especificar los valores que tomarán las variables y parámetros durante la modelación, a objeto que dichos valores reflejen en la mejor forma posible el estado del sistema.

Figura 3: Diagrama de flujo para una adecuada elección de un modelo



Referencia: Kiely, 1999.

La construcción y desarrollo de un modelo puede funcionar, pero fallar en la entrega de resultados correctos. En la mayoría de las situaciones, se tiene información disponible para comparar los resultados de la modelación con datos de un sistema real, datos del desempeño de sistemas similares y el conocimiento propio sobre la operación de un sistema real. Por lo tanto, la única prueba real de que un modelo es eficiente, es qué tan bien se desempeña respecto al sistema real después de que los resultados del estudio se hayan puesto en ejecución.

2.5 Modelación Atmosférica

Los modelos de dispersión atmosférica se utilizan para saber, entre otras cosas, cómo cambia en el tiempo y el espacio la concentración o la razón de mezcla de una sustancia o traza habitualmente identificada como un contaminante primario, a objeto de predecir y analizar la calidad del aire y de esta forma colaborar en las decisiones políticas y de planificación respecto a la gestión, mediante el desarrollo de planes, programas, proyectos y normas de emisión o calidad del aire. Este cambio, puede ser descrito por la ecuación de continuidad (modelo conceptual) que expresa el balance entre las variaciones de la concentración de una traza y el efecto de flujos de transporte, fuentes y sumideros.

La concentración de la pluma en un punto cambia por la convergencia o divergencia de vientos, por fuentes, transformaciones físicas y químicas, emisiones, remoción por lluvia, etc. La ecuación general los modelos de dispersión resuelven, es la ecuación (A)

$$\frac{\delta c}{\delta t} = -c\nabla \cdot \vec{v} - \vec{v} \cdot \nabla c - \nabla \cdot (\langle c'\vec{v} \rangle) + Q - S; \quad CB, CI \quad (A)$$

donde:

c = concentración [kg/m³]

\vec{v} = vector de velocidad del viento [m/s]

∇ = variación respecto del espacio (tres dimensiones independientes)

$\frac{\partial c}{\partial t}$ = variación local de la concentración promedio de una traza respecto del tiempo

$-\bar{v}\cdot\nabla c$ = advección de masa por efecto del viento promedio

$\nabla\cdot(\langle c'\bar{v}'\rangle)$ = divergencia del flujo turbulento de traza ($\langle \rangle$ denota promedio y fluctuaciones en torno al promedio)

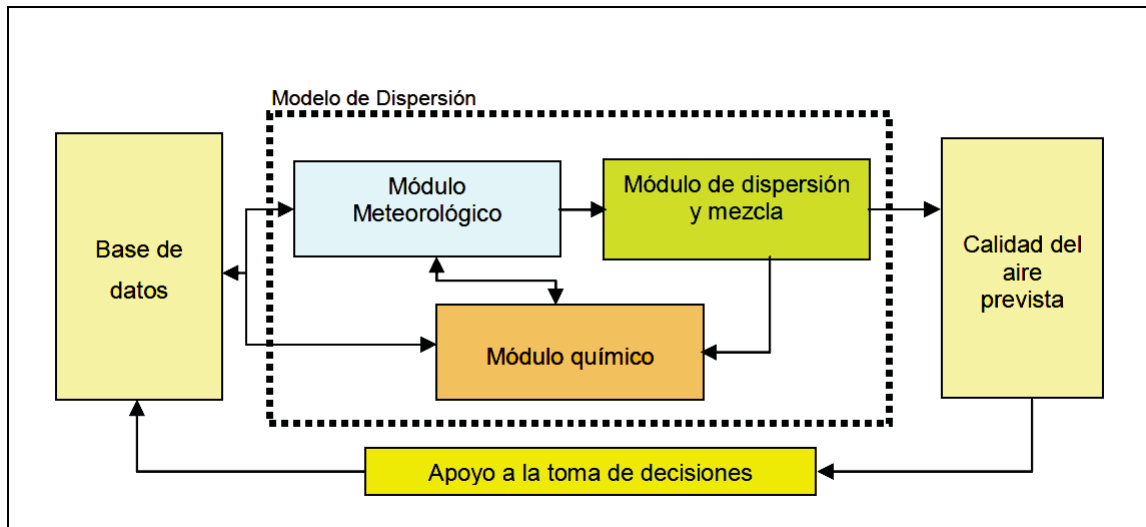
Q = fuentes [$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$]

S = sumideros

CB, CI = condiciones de borde iniciales

Cualquier modelo de dispersión, contiene o se comunica con varios otros modelos y/o bases de datos, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Diagrama de operación y conexiones entre los distintos módulos industriales



Referencia: Adaptado de Gallardo, 1997

Normalmente, existe un módulo químico que representa los procesos de transformación química y de fase, como por ejemplo, la formación de aerosoles. También existe un módulo meteorológico que entrega los campos de vientos, temperatura, humedad, etc., necesarios para resolver la ecuación de continuidad de la traza. Un tercer módulo principal resuelve los aspectos relativos a los

múltiples y complejos procesos de transporte (advección, convección, turbulencia, etc.). Por supuesto, todos estos módulos están conectados con bases de datos, por ejemplo, el inventario de emisiones y la topografía y uso del suelo de la zona. El conjunto de estos módulos se conecta con el no menos complejo proceso de gestión y apoyo a la toma de decisiones.

2.6 Tipos de Modelos

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven la ecuación de continuidad descrita con anterioridad utilizando diversos métodos y aproximaciones. En el esfuerzo de predecir las concentraciones de contaminantes en un punto alejado del foco emisor y resolver la ecuación de continuidad, se han desarrollado varios tipos de modelos matemáticos para estimar la calidad del aire. Entre éstos se incluyen, modelos gaussianos, urbanos, regionales y globales.

a) Modelos Gaussianos

Los modelos gaussianos son de uso común en problemas de dispersión contaminantes no reactivos de fuentes puntuales tales como chimeneas industriales. Básicamente suponen que la pluma de un efluente presenta una distribución normal o de Gauss (Gaussiana) de las concentraciones en torno al eje de simetría definido por la dirección del viento.

Cabe destacar que estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es en general, decreciente en tanto se aplican en localidades con relieve complejo y caracterizados por circulaciones atmosféricas complejas.

b) Modelos urbanos y regionales

Los modelos de escala urbana y regional usualmente están, orientados a ser herramientas de gestión de calidad del aire. Los problemas de escala urbana y regional son complejos pues hay que considerar los efectos de múltiples fuentes, contaminantes primarios y secundarios, procesos de deposición y meteorología local y regional. Eso requiere la integración de modelos y bases de datos.

Los aspectos meteorológicos son tratados a través de modelos meteorológicos de diagnóstico o pronóstico. En los primeros se estiman los campos de viento a partir de datos meteorológicos de superficie y de altura, recopilados desde estaciones de monitoreo utilizando métodos que buscan una interpolación y extrapolación óptima de las observaciones. En los segundos, se calculan los parámetros meteorológicos a partir de las ecuaciones que describen las relaciones físicas fundamentales del movimiento y la energía en el aire. El desarrollo actual de los esfuerzos de modelación de procesos atmosféricos tiende a integrar ambos tipos de modelos a través de las técnicas conocidas como asimilación de datos.

Un problema común de los centros urbanos es la acumulación de precursores de oxidantes, por ejemplo ozono, y de material particulado. Existe una amplia gama de modelos fotoquímicos comparables en cuanto a sus capacidades de reproducir estas observaciones.

c) Modelos globales

Los modelos globales resuelven la ecuación de continuidad para toda la atmósfera. Estos modelos, al igual que los modelos locales y regionales, han ido creciendo en complejidad en la medida que más variables y trazas con tiempos de

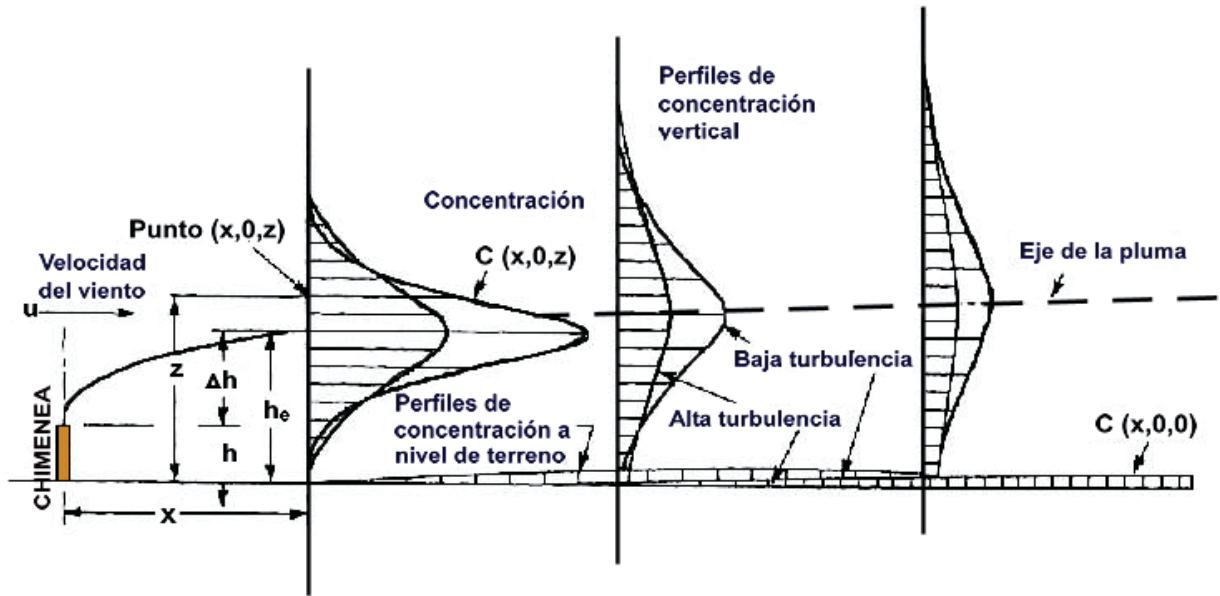
recambio más cortos han sido incorporadas en ellos y el desarrollo de computadores más rápidos lo han hecho factible.

2.7 Modelo Gaussiano de Dispersión

Este modelo describe a través de una fórmula simple el campo tridimensional de concentraciones generado por una fuente puntual en condiciones meteorológicas y de emisión estacionarias.

A medida que una pluma de contaminantes progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana. Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará una pluma en forma de cono. La concentración en la línea central de la pluma será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos de la pluma pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la Figura 5.

Figura 5: Progresión de la pluma en base a las turbulencias y parámetros de dispersión



Referencia: Kiely, 1999.

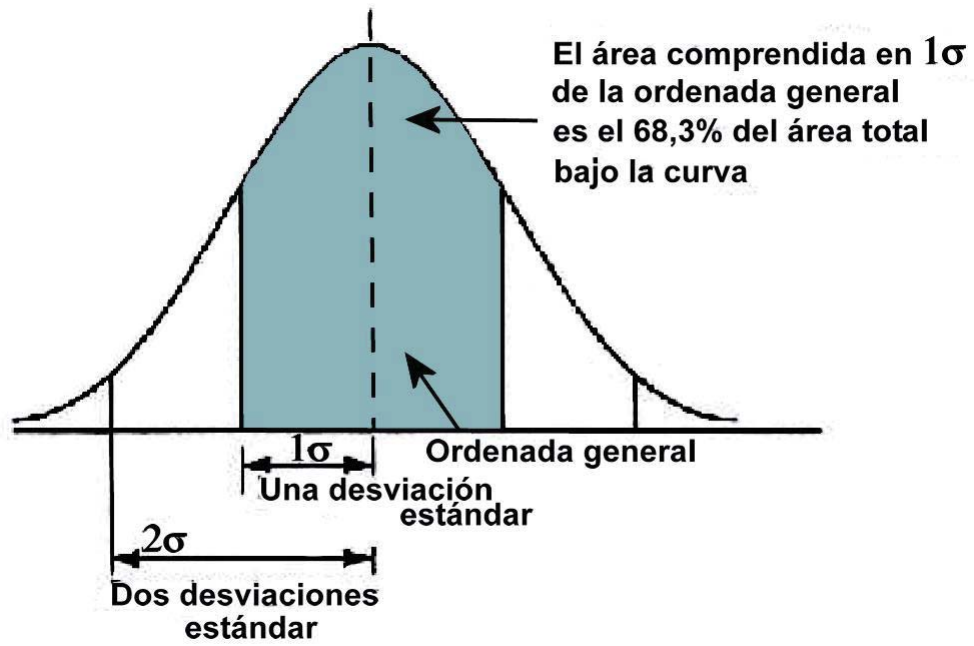
La concentración de un contaminante en cualquier punto es tal que:

$$C(x, y, z) \propto \frac{1}{U} Q G \quad (\text{B})$$

Donde U es la rapidez del viento, Q es la tasa de emisión y G es la curva de Gauss normalizada en el plano, esto es, el plano perpendicular a la dirección del viento, x .

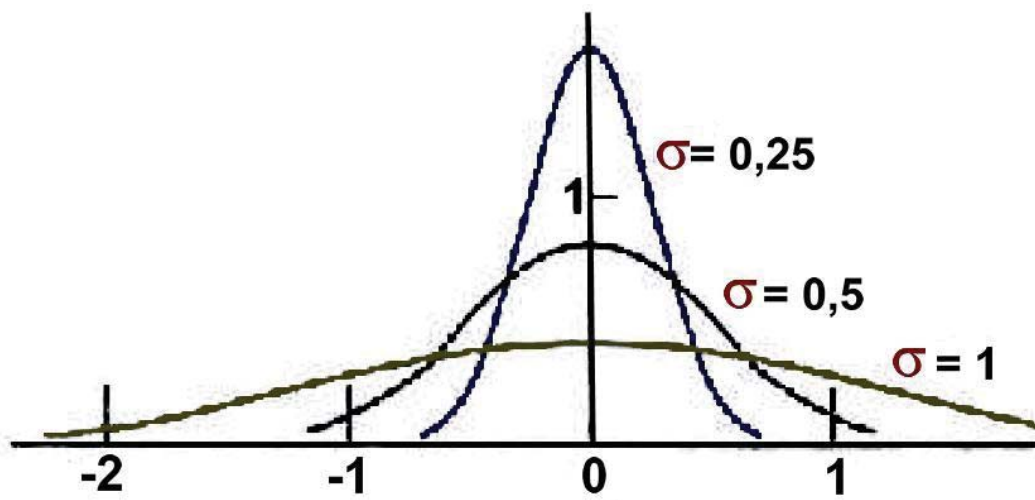
La Figura 6 representa la curva normal (gausiana), empleada para caracterizar un proceso estocástico. La altura central en el eje de ordenadas se denomina "media" y el ancho de la curva se describe como desviación estándar. A medida que la distancia viento abajo se incrementa, la concentración máxima en la línea central disminuye ya que la pluma se ensancha en las direcciones z e y . En la Figura 7, se muestra cómo el valor aumenta a medida que la distancia a partir del foco emisor aumenta.

Figura 6: Curva de Distribución Gaussiana



Referencia: Kiely, 1999

Figura 7: Variación de σ



Referencia: Kiely, 1999

La distribución de Gauss en la dirección lateral se describe por la expresión:

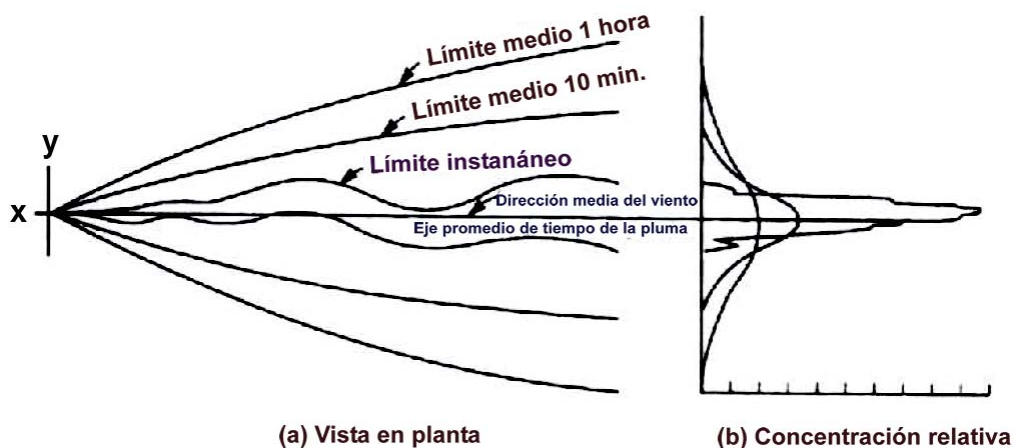
$$G_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]} \quad (\text{C})$$

Análogamente en el eje Z

$$G_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right]} \quad (\text{D})$$

La Figura 8 (a) (izquierda) es una gráfica de la evolución de la pluma en tiempos diferentes. En cualquier instante, la pluma presenta un contorno serpenteante. A los 10 minutos o 1 hora, el contorno se extiende y con él la concentración de la línea central disminuye, tal y como se muestra en la gráfica de la Figura 8 (b) (derecha).

Figura 8: Cambios en la pluma respecto al tiempo transcurrido



Referencia: Kiely, 1999

La pluma gaussiana que es transportada en la dirección positiva del eje x puede ser expresada, en general como:

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_h\sigma_z|\bar{u}|} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_{cw}}{\sigma_h}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_s + \Delta h - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (\text{E})$$

donde $c(s, r)$ es la concentración en $r = (x_r, y_r, z_r)$ debido a las emisiones en $s = (x_s, y_s, z_s)$; Q es la tasa de emisión; $\sigma_h(j_h, d)$ y $\sigma_z(j_z, d)$ son la desviación estándar (horizontal y vertical, respectivamente) de la distribución espacial de la concentración de la pluma (σ_h también se escribe como σ_y); j_h y j_z son los estados de turbulencia vertical y horizontal; d es la distancia viento abajo desde la fuente al receptor, donde:

$$d = \frac{|(r-s)\bar{u}|}{|\bar{u}|} \quad (\text{F})$$

\bar{u} es la rapidez promedio del vector a la altura de la emisión (suponiendo que $\bar{u}_z \ll \left(|r-s|^2 - d^2\right)^{1/2}$; Δ_{cw} es la distancia a lo largo del viento de la fuente y el receptor (entre el receptor y la línea central de la pluma), donde:

$$\Delta_{cw} = \left(|r-s|^2 - d^2\right)^{1/2} \quad (\text{G})$$

y Δh es la elevación de la pluma por sobre la chimenea, que es una función de los parámetros de la emisión, condiciones meteorológicas y la distancia viento abajo d . La Ecuación (E) es aplicable para $d > 0$; si $d < 0$, entonces $c = 0$.

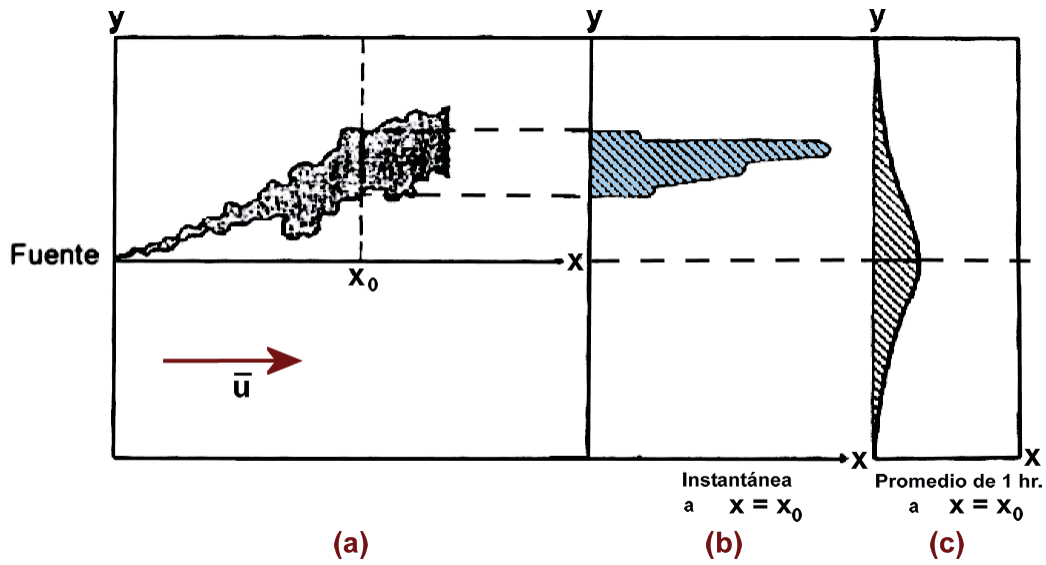
Como puede observarse, la ecuación (E) está referida a estado estacionario, utiliza condiciones meteorológicas (viento y estados de turbulencia) que requieren ser consideradas homogéneas y estacionarias en el área modelada (es decir, entre r y s) y no opera en condiciones de calma cuando la rapidez tiende a cero. Sin embargo, la simplicidad de la aproximación gaussiana, la hacen sencilla de usar con parámetros meteorológicos fáciles de medir. Por otra parte gracias al nivel determinante que esta metodología tiene en la toma de decisiones, ha estimulado el desarrollo de investigaciones con el propósito de eliminar algunas de las limitaciones de la teoría gaussiana en el tratamiento de las situaciones complejas que se presentan en el mundo real.

La ecuación (E) es generalmente escrita de la forma:

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z|\bar{u}|} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (\text{H})$$

donde \bar{u} es la rapidez media del viento, h_e es la altura efectiva de la emisión (es decir $h_e = h_s + \Delta h$) y σ_y reemplaza a σ_h , utilizando un sistema de coordenadas cartesianas cuyo eje x está orientado en la dirección del viento. La ecuación (H) se puede obtener de varias formas a partir de algunos supuestos y justificada a través de consideraciones semi-empíricas. Como puede observarse en la Figura 9, donde se ejemplifica la distribución instantánea de concentraciones y promedios horarios.

Figura 9: Perfiles instantáneos, horizontales y promedios horarios de la concentración de la pluma



Referencia: Traducido de Zanetti, 1990

donde:

- a) es la vista instantánea de una pluma
- b) es el perfil horizontal instantáneo de la concentración de una pluma a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia, viento debajo de la fuente emisora.
- c) Promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.

En base a lo anterior, podemos decir que aun cuando la concentración instantánea de una pluma sea completamente irregular, su promedio en tiempos suficientemente largos (por ejemplo, una hora) genera en la mayoría de los casos, distribuciones de concentración "acampanadas" que pueden bien ser aproximadas a una distribución gaussiana, tanto en la dirección horizontal como en la vertical.

Un área que ha recibido particular énfasis en su estudio es la identificación de los parámetros que requiere la última ecuación para dar una buena estimación de la concentración máxima a nivel del suelo. Como ya se mencionó, el modelo gaussiano se encuentra lejos de ser exacto. Sin embargo, se han incorporado a su ecuación general algunos términos adicionales para mejorar su desempeño frente a determinadas situaciones. Entre éstas, es conveniente destacar la incorporación de términos reflectivos para simular la reflexión que puede sufrir una pluma, ya sea total o parcial debido a su interacción con el suelo subyacente o cuando su desarrollo en altura se encuentra limitado por una capa de inversión térmica. También se han incorporado términos de decaimiento, deposición y transformaciones químicas para simular procesos de remoción de los contaminantes desde la atmósfera, tratamiento de fuentes lineales, área o volumen, efectos de fumigación de una pluma sobre el suelo, efectos de edificaciones, plumas que ven limitado su desarrollo al ser atrapados al interior de un valle, plumas inclinadas, terreno complejo y dispersión en zonas costeras, etc. No obstante, estos ajustes no son suficientes para representar todos los procesos y deben ser utilizados cuidadosamente. A su vez, van en desmedro de la mayor ventaja de los modelos gaussianos, como es su simplicidad.

2.8 Requisitos de los datos de entrada de los modelos de dispersión tipo Gaussiano

Los requisitos de los datos de modelos de dispersión de tipo gaussiano se agrupan en tres categorías:

- a) **Datos de la fuente:** Ubicación de chimeneas y otras fuentes, altura física de la chimenea y su diámetro interno, velocidad de salida del gas desde la chimenea, temperatura y tasa de emisión del contaminante. Este último normalmente se expresa en valores promedio temporales (por 1 hora, 24 horas o 1 año). Algunos modelos de dispersión pueden requerir de datos de entrada adicionales tales como la elevación de la fuente y el terreno, dimensiones de edificaciones próximas (por ejemplo, el ancho promedio del edificio y el espacio entre los edificios), distribución del tamaño de la partícula y sus correspondientes tasas de deposición y coeficientes de reflexión superficial.
- b) **Datos meteorológicos:** La mayoría de los modelos gaussianos acepta datos meteorológicos de superficie que consideran la clasificación de estabilidad a cada hora, dirección y rapidez del viento, la temperatura atmosférica y la altura de la capa de mezcla. Es deseable que como mínimo se disponga de un año de datos meteorológicos. Sin embargo, en los casos donde algunos datos de largo plazo están disponibles sólo para la región, las observaciones locales para el sitio bajo examen pueden ser obtenidas a partir de éstas, previa revisión de los datos de largo plazo obtenidos en la región. Cuando sea necesario, una estación meteorológica local debiese ser instalada y operada por al menos un año.
- c) **Datos de los receptores:** La identificación y codificación de todos los receptores (por ejemplo, áreas con alta población o concentración máxima

esperada a nivel del suelo). Normalmente, los receptores son especificados por sus coordenadas y elevación.

Los resultados de modelos de dispersión gaussianos son comúnmente la representación de gráficos con la concentración de los contaminantes a lo largo del área inmediata que rodea a la fuente. El gráfico consiste en las concentraciones calculadas respecto a parámetros de concentración, distancia, altura y otros. Luego que se trazan los resultados, se evalúan los datos calculados. Los gráficos necesitan ser evaluados comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire e identificar posibles áreas dónde la concentración del contaminante está sobre los niveles deseables.

Es conveniente enfatizar que la modelación matemática de procesos atmosféricos complejos conlleva por esencia aproximaciones e incertidumbres que pueden verse incrementadas cuando faltan datos o son poco representativos. Por lo tanto, es recomendable que los resultados del modelo sean tratados con cuidado al usarlos formalmente en la toma de decisiones, motivo por el cual, los resultados deben incluir una discusión de su variabilidad y límites de confianza. También se recomienda que los resultados sean resumidos claramente y de manera entendible a fin de facilitar el trabajo al momento de la toma de decisiones.

2.9 Selección y evaluación de modelos

La elección de un modelo para abordar un problema de calidad del aire, ya sea para diagnóstico o pronóstico, merece un análisis detallado que debe integrar variados aspectos. Para ello el analista debe ser capaz de caracterizar los factores que afectan la dispersión de los contaminantes, conocer la ruta y duración de la exposición, así como la ubicación de la población afectada por la selección del modelo.

Los procesos o factores que influyen significativamente en la concentración de contaminantes en el aire deben ser suficientemente caracterizados para que puedan ser descritos cuantitativamente por el modelo de dispersión. Estas caracterizaciones pueden ser clasificadas de acuerdo a las características de la fuente, condiciones meteorológicas, escala geográfica, topografía y propiedades de los contaminantes.

Existen varios modelos de dispersión atmosférica han sido discutidos por las agencias ambientales de Estados Unidos (US EPA, *Environmental Protection Agency*), Europa (EEA, *European Environment Agency*), Chile (CONAMA y actual SEIA, *Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental*).

2.10 Uso de Modelos Gaussianos desde la perspectiva internacional

Según antecedentes ambientales de la Unión Europea y Estados Unidos entre otros, los modelos de dispersión atmosférica son una herramienta necesaria para estimar los cambios en la calidad del aire, esto puede ser tanto local y a distancia, causados por una o varias fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos. Además, se reconoce la necesidad que existe en el sector privado y público de aplicar modelos de calidad del aire con propósitos regulatorios, políticos, de difusión pública o de investigación y para ello proponen criterios para el uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Estos criterios regulan la aplicación de modelos o establecen guías para su uso con el objetivo de proveer bases comunes para estimar la concentración de contaminantes en el aire.

La aproximación más simple corresponde a los modelos de dispersión para fuentes presentadas con una distribución gaussiana, usados habitualmente para estimar las concentraciones de los contaminantes a nivel del suelo y a poca de distancia de la fuente (desde cientos de metros a decenas de kilómetros). Todas las guías desarrolladas, examinan la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos más utilizados o que pueden aplicarse para evaluar el impacto en la calidad del aire en las cercanías a una fuente de contaminantes a escalas locales, urbanas y regionales.

Con el aumento de los problemas de contaminación y la importancia que se le ha dado a las normas de calidad del aire a partir de las últimas cuatro décadas, los modelos de dispersión están siendo extensamente usados en evaluaciones de impacto ambiental, así como para apoyar el establecimiento de requisitos específicos a las emisiones. Generalmente, la mayoría de los países exigen realizar un análisis básico de los posibles impactos en las concentraciones ambientales para aquellas instalaciones que tengan el potencial de emitir

anualmente una determinada cantidad de material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno o de cualquier contaminante identificado por la propia legislación como peligroso.

Las principales diferencias entre los diversos modelos disponibles, es su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Algunos de los modelos (como SCREEN3 y CTDMPLUS), son denominados como “modelos preferidos” por la US EPA debido a que acreditan cumplir los criterios técnicos mínimos definidos por esa Agencia Ambiental, fueron probados en terreno y extensamente revisados. Lo anterior no indica que un modelo no preferido sea menos apropiado para una determinada aplicación, pero sí que existen experiencias documentadas para los modelos preferidos que pueden dar mayor credibilidad al estudio. Sin embargo, tampoco el uso de un modelo preferido asegura que cualquier aplicación sea exitosa.

Estos modelos fueron desarrollados y se han usado en países industrializados y pueden ser útiles en países en vías de desarrollo. Sin embargo, su uso puede requerir de una adaptación o calibración de acuerdo a la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y condiciones bajo las que son utilizados. Por ejemplo, los modelos de dispersión no han sido objeto de una evaluación de sus resultados en relación a registros de calidad del aire en áreas tropicales o cordilleranas.

Varias empresas privadas ofrecen versiones mejoradas de modelos gaussianos. Las mejoras facilitan la entrada y análisis de datos, el despliegue gráfico de los resultados y los resultados se entregan en forma personalizada. Adicionalmente proporcionan apoyo técnico, e incluso algunas de estas empresas ofrecen entrenamiento en el uso de modelos. Existen otros modelos, además de los modelos antes mencionados, que si bien no se utilizan habitualmente pueden llegar a ser más apropiados en situaciones específicas debido a que han sido

desarrollado por instituciones locales, considerando las condiciones propias de dicha localidad.

Para estudiar situaciones complejas, como las que se dan sobre superficies de 200 km en áreas urbanas y con problemas de contaminación fotoquímica, se requiere examinar los efectos de reacciones fotoquímicas entre los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y los óxidos de nitrógeno. Usualmente este análisis requiere una gran cantidad de datos y la contratación de personal experto. En Chile existe capacidad de aplicar modelos más complejos.

En situaciones complejas, se requiere un significativo esfuerzo y criterio profesional para estimar el inventario de emisiones, definiendo todas las fuentes que serán incluidas, para recolectar datos meteorológicos y para seleccionar las combinaciones de condiciones que serán simuladas. Por ejemplo, en el caso de un complejo industrial puede ser apropiado agrupar las fuentes según sus diferentes tipos: grandes fuentes, fuentes industriales o municipales más pequeñas y emisiones residenciales. La identificación de las fuentes y la estimación del inventario de las emisiones para el uso en el modelo son tareas muy importantes. Para las grandes fuentes, deben obtenerse los detalles específicos del área.

En Chile, el uso de modelos se encuentra señalado “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” (D.S. No. 95 de 2001, Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República. D.O. 7.12.2002, Título III, Artículo 12, letra g.), en donde se estipula que la predicción y evaluación de los impactos ambientales se efectuará en base a modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos. Además, señala que cuando por su naturaleza, un impacto no se pueda cuantificar, su evaluación sólo tendrá un carácter cualitativo. El reglamento también establece que el uso de procedimientos o metodologías utilizadas en la predicción y evaluación de los impactos ambientales debe ser

debidamente justificada y efectuada considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable.

Según lo anterior, la legislación chilena requiere que todos los proyectos que sean sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), y cuyas emisiones a la atmósfera sean significativas, apliquen modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, los cuales deben ser capaces de representar las variaciones espaciales y temporales de los impactos en la calidad del aire y se requiere que se determine el punto de máximo impacto ambiental al considerar la situación actual. Aun así, en Chile, no se han definido pautas o criterios específicos para realizar la predicción de los impactos ambientales sobre la calidad del aire a base de modelos, simulaciones o cálculos matemáticos; por consiguiente, la referencia de los modelos atmosféricos en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental es solamente el primer paso, ya que para llegar a una legislación ambiental sólida respecto a la calidad atmosférica, es necesario entender que todos los sectores económicos contribuyen a la contaminación; además, hay que tener claro que la ubicación geográfica de una urbe no es una excusa para que grandes ciudades tengan porcentajes considerables de contaminantes primarios en el aire. Aun así, desde hace dos décadas se están usando en nuestro país distintos modelos de dispersión atmosférica para efectuar alertas ambientales o las preemergencias, permitiendo medir qué tan efectivo son los planes de descontaminación que se aplican en ciertos momentos críticos de nuestro país.

A pesar de la falta de legislación general medioambiental respecto a las emisiones y su prevención, el Ministerio de Minería mediante su Decreto Supremo N° 185 (Publicado en el Diario Oficial el 16 de enero de 1992), reglamenta las emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico, en el cual se establece como requisito para el funcionamiento de establecimientos nuevos que se instalen en un zona clasificada como saturada, latente, no saturada o no clasificada y que emitan a la atmósfera a través de sus fuentes emisoras

cantidades mayores o iguales a 3 toneladas diarias de anhídrido sulfuroso ó 1 tonelada diaria de material particulado, la obligatoriedad de solicitar y obtener una evaluación previa del Servicio de Salud correspondiente, en la forma que lo establece el Código Sanitario, como requisito para obtener la autorización municipal, sin el perjuicio de otras autorizaciones que deba obtener.

Según lo estipulado en dicho Decreto Supremo, la evaluación debe considerar la aplicación de un modelo matemático a la predicción de la dispersión de contaminantes atmosféricos considerando todas las condiciones meteorológicas de la zona, con el propósito de confeccionar perfiles de concentración ambiental para anhídrido sulfuroso y material particulado en función de la distancia del foco emisor, definiendo el punto de máximo impacto e indicando la probable concentración de anhídrido sulfuroso y de material particulado que allí se generaría, y un informe que permita estimar las probables consecuencias de tipo ambiental que se producirían en situaciones adversas de fuerza mayor.

2.11 Criterios básicos para una modelación de dispersión atmosférica de calidad

- Presentar explícitamente los propósitos de la evaluación que se desarrollará.
- Presentar los datos de entrada a usarse por el modelo de dispersión. Estos datos deben ser suficientes para poder auditar la configuración del modelo y los valores de los parámetros usados para definir todas las fuentes y las condiciones meteorológicas.
- Presentar un mapa geográfico que abarque toda el área que será evaluada y que incluya las áreas urbanas cercanas u otros lugares de interés, indicando la extensión del dominio en estudio y sobre el cual será aplicado el modelo, señalando posibles áreas protegidas o áreas de interés.
- Presentar la información referida a los regímenes de operación de cada fuente.
- Listar explícitamente los contaminantes que serán considerados durante la evaluación, incluyendo su especie química (óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, etc.) y discutir las normas de calidad del aire que resulten relevantes u otros criterios que resulten apropiados en relación a los objetivos de la evaluación.
- Justificar el modelo utilizado. Se debe describir las razones de su elección, el nombre, tipo y versión del modelo, así como la identificación de quienes lo desarrollaron y aplicaron.
- Presentar las características del terreno de la zona que será evaluada, señalando si las fuentes o los receptores se encuentran en una zona

costera, terreno simple o complejo. Especificar la ubicación y dimensiones de masas de agua cercanas, la ubicación y altura de las elevaciones cercanas, así como otras consideraciones geográficas que sean relevantes en la elección del modelo que será utilizado. En caso de terreno simple se debe indicar la ubicación y la elevación de aquellos receptores donde sea posible que existan concentraciones mayores que a nivel de base de las fuentes.

- Describir la topografía de la zona y los criterios utilizados en el modelo, señalando y justificando la inclusión o no del tratamiento del terreno en la evaluación y reporte de las fuentes, así como el formato y la forma en que ha sido procesada la información del terreno utilizada. Se debe indicar el criterio utilizado para la selección de condiciones urbanas o rurales. Identificar y considerar el efecto de edificaciones cercanas, justificando la inclusión o no del tratamiento de las edificaciones en la evaluación y reportar la ubicación y dimensiones de todas las edificaciones incluidas en el modelo.
- Indicar los criterios utilizados para la selección del dominio del modelo y los receptores, señalando y justificando la extensión del área modelada. Se debe dar especial atención a la ubicación de receptores críticos, por ejemplo, en caso de terreno simple con elevaciones cercanas a la altura de la fuente o la presencia de algún edificio más alto que el resto de las edificaciones que rodean a la fuente en estudio.
- Indicar el criterio utilizado para la selección de la información meteorológica, señalando y justificando la elección de la información meteorológica que será usada en el modelo.
- Discutir y cuantificar la sensibilidad del modelo a la información meteorológica, características de la emisión (características de la chimenea, tasa de emisión del contaminantes, diferentes escenarios de operación) y tratamiento del terreno y edificaciones.

- Se deben evidenciar las concentraciones para los distintos escenarios supuestos.
- Se deben presentar los datos, mediante gráficos de concentración versus la distancia a la base de la chimenea bajo las condiciones meteorológicas y supuestos utilizados
- En caso de tratarse de fuentes múltiples, se debe presentar los perfiles para todas las direcciones de las semirrectas que unen la chimenea de referencia (origen de coordenadas), con los puntos respectivos de máxima concentración horaria para las condiciones meteorológicas bajo las cuales se produce cada una de las mismas.
- Presentar los resultados en forma clara y fácil de entender. Se recomienda presentar en forma de tablas e isolíneas de concentración, indicando la concentración total y los lugares de máximo impacto sobre la calidad del aire y los procesos que contribuyen a estos.
- Discutir los valores obtenidos de la aplicación del modelo y las concentraciones totales para las diferentes suposiciones utilizadas. Justificar los supuestos utilizados en relación a los procesos de transformación de los contaminantes para los diferentes tiempos.

3. OBJETIVOS

En base a los antecedentes revisados, marco teórico expuesto y necesidad de análisis en una zona determinada, se han definido los siguientes objetivos:

3.1 Objetivo General

- Aplicar un modelo de dispersión atmosférica, para verificar su versatilidad ante distintos escenarios, tanto reales como ficticios.

3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar el modelo de dispersión atmosférica SCREEN3 en base a información de emisiones en la zona La Calera, V Región, según datos de emisiones ocurridas durante el año 2011.
- Describir el uso de modelos de dispersión atmosférica, especialmente del modelo SCREEN3 y su relación en la evaluación ambiental.
- Presentar distintos escenarios propuestos y supuestos, para verificar la versatilidad del SCREEN3
- Determinar si la aplicación de un modelo de dispersión atmosférica se puede considerar una aproximación metodológica apropiada para determinar posibles emergencias medioambientales en una zona trabajada.
- Determinar si el modelo de dispersión atmosférica SCREEN3 es una herramienta capaz de proporcionar información adecuada y concisa

respecto a la concentración de contaminantes atmosféricos en un área geográfica determinada.

- Sugerir y proponer formas de mejoramiento respecto al uso y aprovechamiento de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en la Legislación Ambiental Chilena.

4. MODELO SCREEN3

Entre todos los modelos que proporciona la US Environmental Protection Agency, se ha optado por trabajar con SCREEN3, debido a que entre todos los modelos completamente gratuitos, es el modelo más actualizado.

La mayoría de las técnicas que se usan en el modelo SCREEN3 se basan en suposiciones y al igual que otros modelos de dispersión de la US EPA.

SCREEN3 usa un modelo de pluma gaussiana que incorpora factores relacionados a la fuente y factores meteorológicos para calcular la concentración de contaminantes de fuentes continuas, asumiendo que el contaminante no experimenta ninguna reacción química, y que ningún otro proceso de remoción (como deposición húmeda o seca) actúa sobre la pluma durante su transporte desde la fuente.

El modelo está netamente basado en ecuaciones Gaussianas. La ecuación principal de cálculo de concentraciones de dispersión de la pluma es:

$$X = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \left\{ e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_s}{\sigma_z} \right)^2} + e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_s}{\sigma_z} \right)^2} + \sum_{N=1}^k \left[\left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_s - 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_s - 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_s + 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_s + 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] \right] \right\} \quad (I)$$

Donde:

X = Concentración [g/m^3]
 Q = Flujo o tasa de emisión [g/s]
 u_s = Velocidad del viento a la altura de la chimenea

σ_y = Parámetro lateral de dispersión

σ_z = Parámetro vertical de dispersión

Z_r = Altura del receptor sobre el suelo

h_e = Altura de la pluma [m]

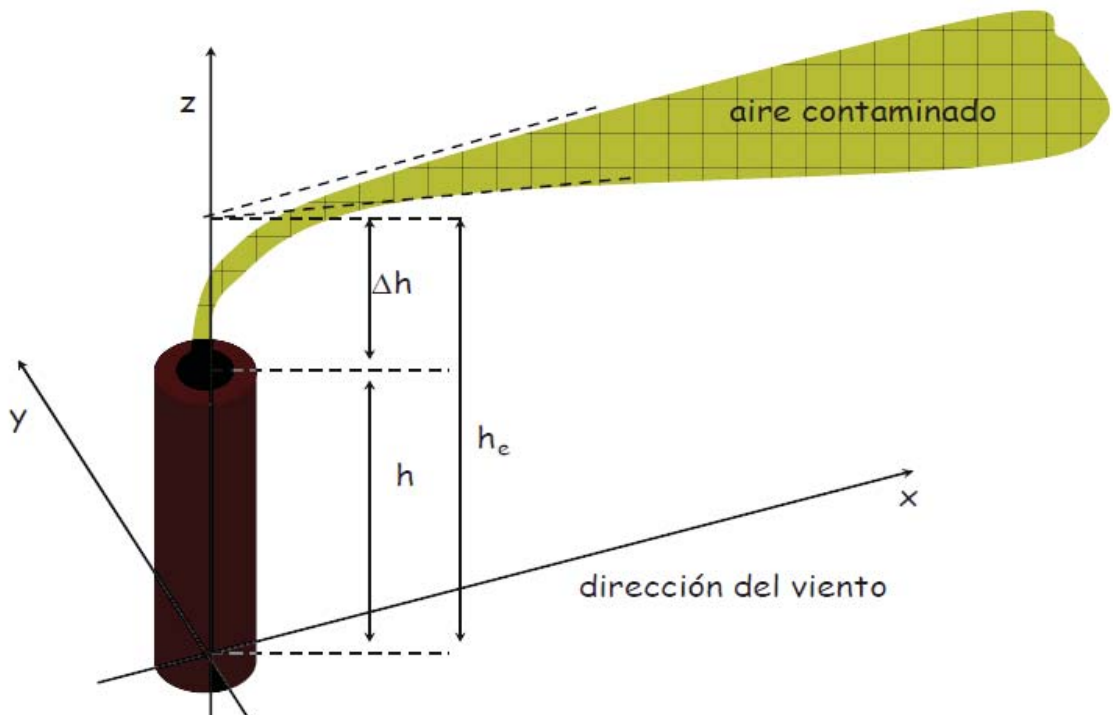
Z_i = Altura de mezcla [m]

k = Sumatoria límite de la pluma,

fuera de la tierra y a inversión elevada, usualmente ≤ 4

En la ecuación, el suelo de la fuente, se trata como una superficie plana que no absorbe contaminante. El significado de las variables se representa en la siguiente ilustración:

Figura 10: Representación física de las variables usadas en la ecuación principal de SCREEN3



Teniendo en cuenta que para condiciones estables o para alturas de mezcla mayor o igual a 10.000 metros, se asume que el término de la sumatoria es cero.

La ecuación (I), es usada para modelar impactos de pluma desde fuentes de punto, liberaciones por incineración, fuentes de área y liberaciones volumétricas.

Los parámetros de dispersión (vertical y lateral) son calculados en base al método de Paquill, donde σ_y y σ_z , se calculan de la siguiente manera:

$$\sigma_y = ax^b \quad \text{(J)}$$

$$\sigma_z = cx^d \quad \text{(K)}$$

Donde x es la distancia de la fuente.

Los valores de a, b, c y d , son ajustados para distancias comprendidas entre 100 y 10.000 m. La Tabla 2, presenta los distintos coeficientes, según la clase de estabilidad atmosférica usada en la modelación, tema del cual se profundizará más adelante.

Tabla 2: Coeficientes a,b,c y d, del método de Paquill respecto a la clase de estabilidad atmosférica

Clase de Estabilidad	Coeficientes			
	a	b	c	d
A	0,527	0,865	0,28	0,90
B	0,371	0,866	0,23	0,85
C	0,209	0,897	0,22	0,80
D	0,128	0,905	0,20	0,76
E	0,098	0,902	0,15	0,73
F	0,065	0,902	0,12	0,67

Para el cálculo de la altura de la pluma, se hace uso de la ecuación de Briggs (L). Dicha ecuación permite hallar el ascenso de la columna de humo, Δh , que introduce los efectos del momento, la sustentación y la estabilidad atmosférica.

$$\Delta h = 114 \frac{CF^{\frac{1}{3}}}{u_s} \quad (\text{L})$$

Donde C , es un parámetro que depende del gradiente de temperatura, u_s es la velocidad del viento a la altura de la chimenea, y F es el factor de flotación (en unidad m^4/s^3) que se obtiene a partir de:

$$F = gv_s D^2 \frac{(T_f - T_a)}{4T_a} \quad (\text{M})$$

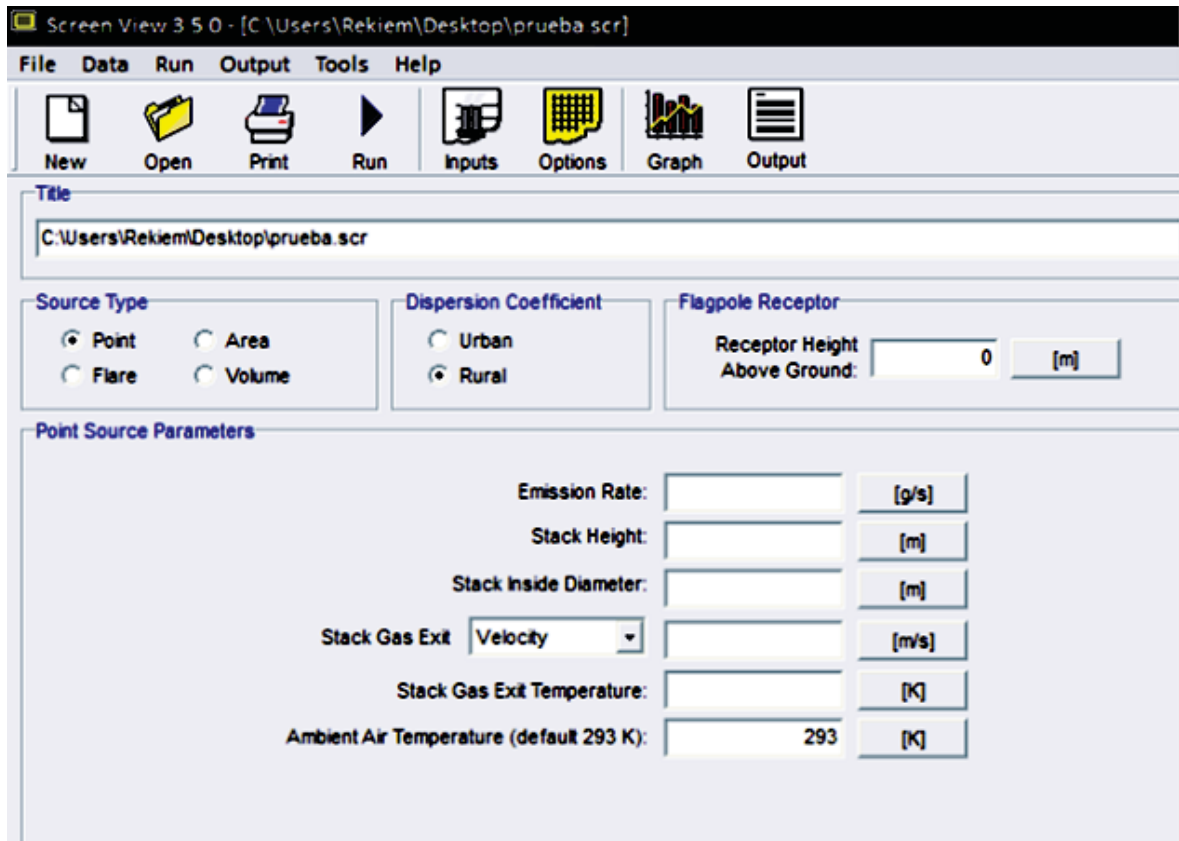
Donde g es la aceleración de la gravedad, v_s la velocidad del gas a la salida de la chimenea, D el diámetro interno de la chimenea y T_f y T_a las temperaturas de salida del gas y la de ambiente en K, respectivamente.

Por lo anterior, la altura final de la pluma se calcula por:

$$h_g = h + \Delta h \quad (\text{N})$$

Donde h es la altura de la chimenea.

Figura 11: Vista principal del programa SCREEN3



4.1 Fuentes de Punto

Para fuentes de punto son necesarios los siguientes datos de entrada:

- Tasa o cantidad de emisión (g/s)
- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro interior de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s) o tasa de flujo (ACFM o m^3/s)
- Temperatura del gas de la chimenea (K)
- Temperatura ambiente (K) (por predeterminación 293 K si se desconoce)
- Altura del receptor sobre el suelo (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

La determinación de la aplicabilidad de la dispersión urbana o rural se basa en el uso de la tierra o densidad de población.

4.2 Liberaciones por Incineración

Para liberaciones por incineración, se calcula el ascenso de la pluma en base a un parámetro de flujo por flotación inducida. Se asume una temperatura ambiente de 293 K en este cálculo y, por lo tanto, ésta no se proporciona por el usuario. Para este tipo de cálculo son necesarios los siguientes datos de entrada:

- Tasa de emisión (g/s)
- Altura de la chimenea de incineración (m)

- Tasa de liberación total de calor (cal/s)
- Altura del receptor sobre el nivel de piso (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

En el caso de las liberaciones por incineración, el factor de flotación, F calculado por la ecuación (O):

$$F = 1,66 * 10^{-5} * H \quad (\text{O})$$

Donde H es la tasa de liberación total de calor (cal/s). La fórmula anterior, es derivada de la fórmula de Briggs, asumiendo

$$T_a = 293 \text{ K},$$

$$C_p = 0,24 \text{ cal/gK}$$

$$v_s = 20 \text{ m/s}$$

$$T_f = 1273 \text{ K}$$

y la tasa de calor sensible como $Q_H = 0,45 * H$. Se supone que 55% del calor total se pierde debido a la radiación (Leahey and Davies, 1984). El diámetro de la chimenea se asume, como un diámetro eficaz por la ecuación (P):

$$D = 9.88 * 10^{-4} (Q_H)^{0,5} \quad (\text{P})$$

El ascenso de la pluma se calcula desde la cresta de la flama, suponiendo que la flama está inclinada 45° con respecto al eje vertical.

4.3 Fuentes de Área

El algoritmo de fuente de área se basa en un enfoque de integración numérica, y permite que las fuentes de área se aproximen a un área rectangular. Los datos de entrada solicitados son los siguientes:

- Tasa o cantidad de emisión [$\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$]
- Altura de la fuente de liberación (m)
- Longitud del lado más largo del área rectangular (m)
- Longitud del lado más corto del área rectangular (m)
- Altura del receptor sobre el suelo (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado)

4.4 Fuentes Volumétricas

En caso de fuentes volumétricas, el algoritmo se basa en un enfoque de fuente de punto virtual y se puede usar para fuentes no flotantes cuyas emisiones ocupan un volumen inicial. Los datos de entrada solicitados son los siguientes:

- Tasa o cantidad de emisión (g/s)
- Altura de la fuente de liberación (m)
- Dimensión lateral inicial del volumen (m)
- Dimensión vertical inicial del volumen (m)
- Altura del receptor sobre el suelo (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

Es necesario determinar las dimensiones iniciales de la fuente antes de ejercitar la fuente volumétrica de SCREEN3. La Tabla 3, proporciona una guía para determinar estos datos de entrada. Debido a que el algoritmo de fuente volumétrica no puede calcular concentraciones dentro de la fuente volumétrica, el modelo dará una concentración de cero para distancias de menos de $2,15\sigma_{y0}$. (medidos desde el centro del volumen).

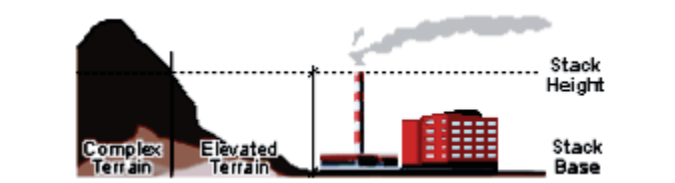
Tabla 3: Resumen de procedimientos sugeridos para estimar las dimensiones iniciales laterales σ_{y0} y las dimensiones iniciales verticales σ_{z0} para fuentes volumétricas.

Descripción de la Fuente	Dimensión Inicial
(a) Dimensiones Iniciales Laterales (σ_{y0})	
Fuente Volumétrica Sencilla	σ_{y0} = longitud del lado dividido entre 4,3
(b) Dimensiones Iniciales Verticales (d_{z0})	
Fuente con Base Superficial ($h_e \sim 0$)	σ_{z0} = dimensión vertical de la fuente dividida entre 2,15
Fuente elevada ($h_e > 0$) sobre o adyacente a un edificio	σ_{z0} = altura de edificio dividida entre 2,15
Fuente elevada ($h_e > 0$) no sobre no adyacente a un edificio	σ_{z0} = dimensión vertical de fuente dividida entre 4,3

4.5 Opción de Terreno Complejo

La opción de SCREEN3 de terreno complejo permite calcular impactos para casos donde las elevaciones de terreno exceden la altura de la chimenea. Seleccionando esta opción, SCREEN3 calcula una altura final de pluma estable y la distancia al ascenso final. Esta técnica supone una velocidad del viento a la altura de la chimenea de 2.5 m/s. Para terreno complejo, se espera que ocurran impactos máximos de la pluma en el terreno elevado bajo condiciones estables. Por lo tanto, es primordial escribir las distancias mínimas y las alturas del terreno para los cuales el impacto es probable, dada la altura calculada de la pluma, y tomando en cuenta que el terreno complejo está más cercano que la distancia del ascenso final. Además, se pueden hacer cálculos por separado entre terrenos simples y terrenos complejos. Debe considerarse que SCREEN3 no considera los efectos de la caída de flujo por edificio ni en el componente de terreno simple del procedimiento de filtración de terreno complejo, aún si se selecciona la opción de caída de flujo por edificio. SCREEN3 también usa una altura de receptor por encima del suelo de cero metros en la opción de terreno complejo, aún si se ha escrito un valor diferente de cero. La altura original del receptor se graba para cálculos posteriores.

Figura 12: Representación de terreno complejo



4.6 Meteorología

Respecto a las condiciones meteorológicas, se examina un rango de clases de estabilidad y velocidades del viento para identificar el peor caso de condiciones meteorológicas, la combinación de velocidad del viento y estabilidad que resulta en máximas concentraciones a nivel de piso. Las combinaciones de velocidad del viento y clases de estabilidad que usa SCREEN3 se dan en la Tabla 4. Las velocidades del viento a 10 metros, se ajustan a la altura de la chimenea usando los exponentes para a ley de potencia para el perfil del viento. Para alturas de liberación menores a los 10 metros, las velocidades del viento se usan sin ajustar. Para distancias mayores a los 50 km, SCREEN3 toma 2 m/s como límite inferior para la velocidad del viento a 10 metros para evitar tiempos de transporte irreales.

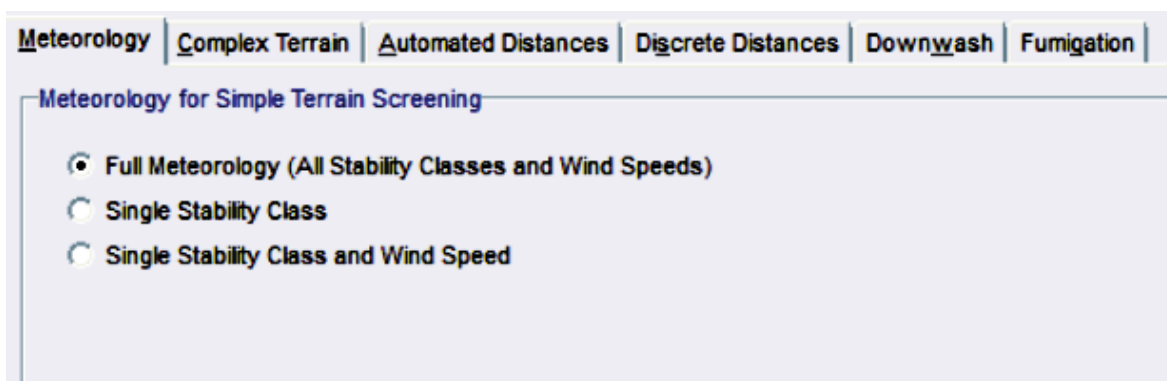
Tabla 4: Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad usadas en el modelo SCREEN3

Clase de Estabilidad	Velocidad del viento a 10 m. [m/s]												
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	8	10	15	20
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
F	*	*	*	*	*	*	*						

Además, existen tres opciones para examinar datos meteorológicos.

- Meteorología completa (Todas las estabilizaciones y velocidades eólicas)
- Clase de estabilidad sencilla
- Clase de estabilidad sencilla y velocidad eólica

Figura 13: Captura de las opciones meteorológicas en SCREEN3



Se debe usar la opción de Meteorología completa en la mayoría de las aplicaciones, la cual examina las seis clases de estabilidad para fuentes rurales y cinco para fuentes urbanas, y sus correspondientes velocidades del viento. Si se usa meteorología completa con el arreglo de distancias automático, SCREEN3 imprime las concentraciones máximas para cada distancia, y el máximo total y su correspondiente distancia. La segunda opción, clase de estabilidad sencilla es alimentar una sola clase de estabilidad (1 = A, 2 = B... 6 = F). SCREEN3 examina un rango de velocidades del viento para esa clase de estabilidad solamente. Al usar esta opción, el usuario puede determinar las concentraciones máximas asociadas con cada uno de los procedimientos individuales. La tercera opción, clase de estabilidad sencilla y velocidad eólica, es especificar una sola clase de estabilidad y velocidad del viento. Las últimas dos opciones fueron originalmente puestas en SCREEN3 para facilitar las pruebas solamente, pero podrían ser útiles si ciertas condiciones meteorológicas son importantes. Sin embargo, no se recomiendan para usos rutinarios.

La altura de mezclado que usa SCREEN para condiciones neutrales e inestables (clases A-D) se basa en una estimación de la altura de mezclado manejada mecánicamente. La altura de mezclado mecánico, z_m (m), se calcula como:

$$z_m = 0,3 \frac{u^*}{f} \quad (\mathbf{Q})$$

donde:

u^* = velocidad de fricción (m/s)

f = Parámetro de Coriolis ($9,374 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ a 40° de latitud)

Si se usa un perfil de la velocidad del viento, aplicando el modelo log-lineal (los modelos log-lineales tratan todas las variables de forma simétrica), considerando una longitud de aspereza o rugosidad (parámetro usado en teorías relativas a la variación vertical del viento cerca a la superficie de la tierra para describir el grado de aspereza aerodinámica de la superficie) de la superficie cercano a 0,3 m, u^* se calcula de la velocidad del viento a 10 metros, u_{10} como:

$$u^* = 0,1 \cdot u_{10} \quad (\mathbf{R})$$

Sustituyendo u^* en la ecuación (R) tenemos

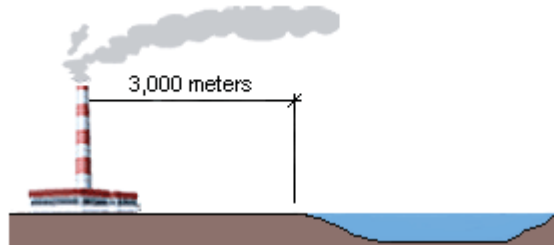
$$z_m = 320 \cdot u_{10} \quad (\mathbf{S})$$

La altura de mezclado mecánico se toma como la mínima altura de mezclado diurna. Con el fin de ser conservador para cálculos limitados de mezclado, si el valor de z_m de la ecuación (R) es menor a la altura de la pluma, h_e , entonces la altura de mezclado que se usa en los cálculos de la concentración se dejan igual a $h_e + 1$. Para condiciones estables, la altura de mezclado se deja igual a 10.000 m para representar mezclado ilimitado.

4.7 Fumigación

La opción para cálculos de fumigación se aplica solamente en lugares rurales tierra adentro con alturas de chimenea mayores o iguales a 10 metros (a al menos 3,000 m de la costa de un gran cuerpo de agua).

Figura 14: Representación de Fumigación



El algoritmo de fumigación ignora cualquier efecto potencial del terreno elevado, entregando las concentraciones máximas y las distancias al valor máximo asociadas con fumigación por rompimiento de inversión, y fumigación de litoral. La distancia máxima se basa en una estimación del tiempo necesario para que la capa de mezclado y dispersión se establezca en la parte superior de la pluma. Lo anterior es calculado en base a la ecuación de Turner.

$$\begin{aligned} X_{MAX} &= u t_m \\ &= \left(u \rho_a \frac{c_p}{R} \right) \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta Z} \right) (h_i - h) \left(\frac{h_i + h}{2} \right) \quad (T) \end{aligned}$$

Donde:

X_{MAX} = Distancia con la concentración máxima en dirección del viento

t_m = Tiempo necesario para que la capa de mezclado y dispersión se establezca en la parte superior de la pluma

$u = \text{Velocidad del viento asumida como } 2,5 \frac{m}{s}$

$\rho_a = \text{Densidad del aire a temperatura ambiente (1205 g/m}^3\text{)}$

$c_p = \text{Calor específico del aire a presión constante (0,24 cal/gK)}$

$R = \text{Tasa de calor sensible en el aire por radiación solar (67 cal/m}^2 \text{ s)}$

$\frac{\Delta\theta}{\Delta Z} = \text{Gradiente vertical de temperatura (0,035 K/m en estabilidad F)}$

$h_i = \text{altura superior de la pluma (} h_e + \sigma_{ze}\text{)}$

$\sigma_{ze} = \text{Parámetro de dispersión vertical respecto a la flotabilidad}$

y σ_{ze} es calculado mediante la siguiente ecuación (U)

$$\sigma_{ze} = \sqrt{\left(\sigma_z^2 + \left(\frac{h_e}{3,5}\right)^2\right)} \quad (\text{U})$$

Donde sus variables son la altura final de la pluma y la variable de dispersión vertical, establecidas anteriormente en la ecuación (I). En cuanto a la máxima concentración, es calculada de la siguiente manera:

$$X_f = \frac{Q}{(2\pi)^{0,5} u \left(\sigma_{ye} + \frac{h_e}{8}\right) (h_e + 2\sigma_{ze})} \quad (\text{V})$$

Donde los parámetros involucrados ya han sido explicados anteriormente, excepto σ_{ye} que es el parámetro de dispersión lateral respecto a la flotabilidad, que se calcula:

$$\sigma_{ye} = \sqrt{\left(\sigma_y^2 + \left(\frac{h_e}{3,5}\right)^2\right)} \quad (\text{W})$$

En caso que la concentración máxima de la pluma ocurra antes de la ribera de la fuente de agua, la distancia donde esto ocurre se calcula:

$$X_{MAX} = \left[\left(\frac{h_e - 2\sigma_{ze}}{6} \right) \right]^2 - x_s \quad (\text{X})$$

Donde x_s es la menor distancia entre la fuente y la ribera de la fuente de agua.

4.8 Concentraciones máximas para promedios de corto y largo plazo.

Dado que los datos de salida de SCREEN3 están referidos a periodos promedios de 1 hora, en aquellas situaciones para las cuales la normativa indica los límites máximos admisibles de corto plazo para períodos diferentes, se pueden obtener los valores de concentración máxima promedio de acuerdo a la expresión:

$$C_{\max}(D_t) = C_{\max}(60) \cdot \left(\frac{D_t}{60} \right)^{-0.20} \quad (\text{Y})$$

donde D_t es el período promedio regulado (minutos).

Para periodos mayores que 1 hora es recomendado usar los factores de conversión dados en la Tabla 5:

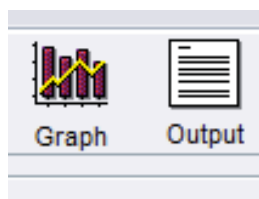
Tabla 5: Factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo

Período Promedio	Factor Multiplicativo
1 h	1,0
3 h	0,9 ± 0,1
8 h	0,7 ± 0,2
24 h	0,4 ± 0,2
Anual	0,08 ± 0,02

4.9 Salidas

Las salidas del SCREEN3, se refiere a las distintas opciones en que un usuario puede apreciar el resultado de la modelación efectuada. Dichas opciones son “Output File” y “Gráfico”.

Figura 15: Captura de las opciones de salida en SCREEN3



La opción de “Output File”, permite al usuario, obtener un archivo de lectura, donde se presenta el resumen escrito de la modelación, los cuales incluye:

- Fecha y hora de la modelación
- Parámetros de entrada
- Consideraciones
- Concentraciones de salida y distintas alturas de pluma(según se haya escogido distancias discretas o automáticas)
- Mayor altura de la pluma

- Máxima concentración
- Parámetros de dispersión (Vertical y Lateral)

La opción “Gráfico”, entrega al usuario, un gráfico de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vs distancia (m), donde la distancia máxima que abarca el gráfico, es la representada según el mayor dato de entrada en distancia automática o distancia discreta.

A continuación se presenta un ejemplo de archivo de salida "Output File".

05/10/12

17:53:27

*** SCREEN3 MODEL RUN ***
 *** VERSION DATED 96043 ***

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = POINT
 EMISSION RATE (G/S) = 2.14000
 STACK HEIGHT (M) = 70.0000
 STK INSIDE DIAM (M) = 1.5000
 STK EXIT VELOCITY (M/S) = 25.5000
 STK GAS EXIT TEMP (K) = 431.0000
 AMBIENT AIR TEMP (K) = 293.0000
 RECEPTOR HEIGHT (M) = 0.0000
 URBAN/RURAL OPTION = URBAN
 BUILDING HEIGHT (M) = 0.0000
 MIN HORIZ BLDG DIM (M) = 0.0000
 MAX HORIZ BLDG DIM (M) = 0.0000

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.
 THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.

BUOY. FLUX = 45.036 M**4/S**3; MOM. FLUX = 248.653 M**4/S**2.

*** FULL METEOROLOGY ***

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
500.	4.783	3	3.5	5.2	1120.0	142.11	102.36	101.95	NO
600.	5.761	1	1.0	1.3	349.2	348.18	189.86	198.73	NO
700.	6.660	1	1.0	1.3	349.2	348.18	213.35	233.02	NO
800.	6.904	1	1.0	1.3	349.2	348.18	236.57	269.58	NO
900.	6.737	1	1.0	1.3	349.2	348.18	259.43	308.16	NO
1000.	6.848	3	1.0	1.5	323.4	322.39	199.43	212.60	NO
1100.	7.021	3	1.0	1.5	323.4	322.39	214.17	231.52	NO
1200.	7.015	3	1.0	1.5	323.4	322.39	228.67	250.60	NO
1300.	6.889	3	1.0	1.5	323.4	322.39	242.93	269.81	NO
1400.	6.693	3	1.0	1.5	323.4	322.39	256.92	289.14	NO
1500.	6.461	3	1.0	1.5	323.4	322.39	270.67	308.55	NO

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 500. M:
 1144. 7.037 3 1.0 1.5 323.4 322.39 220.44 239.70 NO

DWASH= MEANS NO CALC MADE (CONC = 0.0)
 DWASH=NO MEANS NO BUILDING DOWNWASH USED
 DWASH=HS MEANS HUBER-SNYDER DOWNWASH USED
 DWASH=SS MEANS SCHULMAN-SCIRE DOWNWASH USED
 DWASH=NA MEANS DOWNWASH NOT APPLICABLE, X<3*LB

 *** SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS ***

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
SIMPLE TERRAIN	7.037	1144.	0.

5. MODELACIÓN

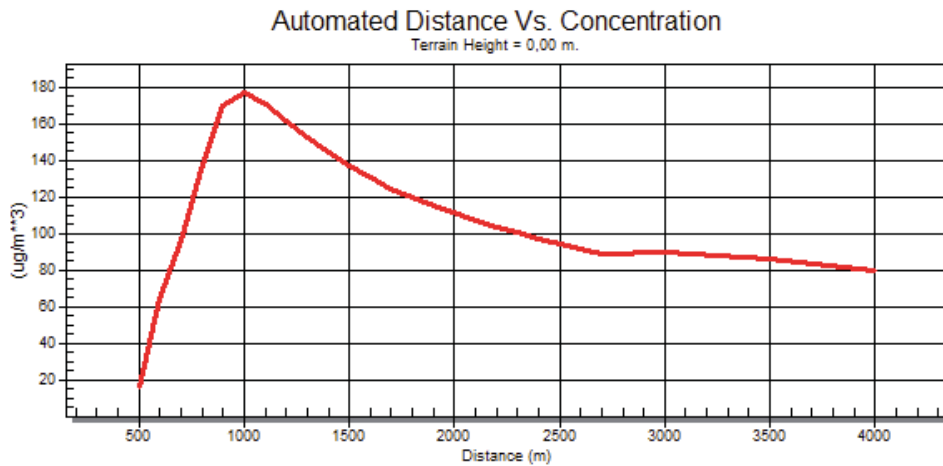
5.1 Modelación Ficticia y Comparativa

Como ya se ha explicado antes, el modelo de dispersión atmosférica SCREEN3, es una herramienta versátil, debido a que otorga una diversidad de posibilidades de escenarios para modelar. Respecto a lo anterior, es necesario analizar cada uno de los datos de entrada y escenarios que presenta, y cómo inciden en la concentración final de la pluma atmosférica.

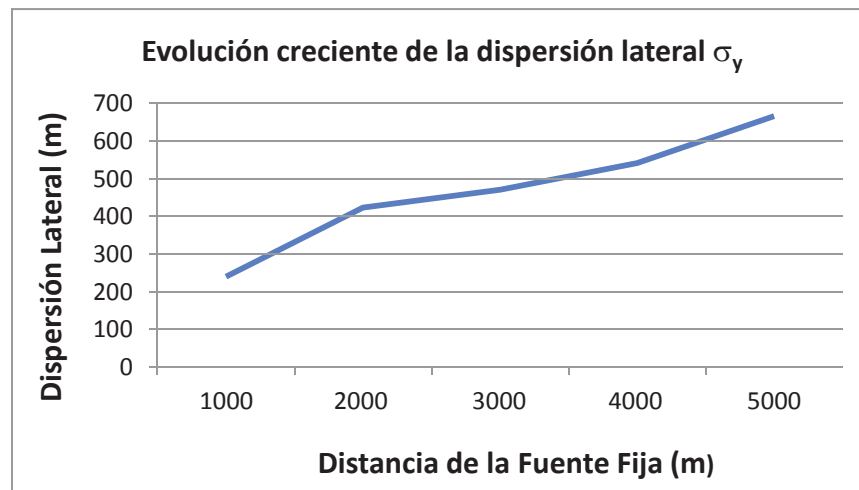
Suponiendo una fuente de punto con los siguientes datos de entrada, a la que llamaremos modelación patrón:

Flujo de Emisión:	100 g/s
Altura de la Chimenea:	100 m
Diámetro Interno de la Chimenea:	2,5 m
Velocidad del Gas de Salida:	25 m/s
Temperatura de Salida:	450 K
Temperatura Ambiente:	293 K
Meteorología Completa:	Sí
Terreno Simple:	Sí
Zona Rural/Urbana:	R

Al ejecutar los datos, SCREEN 3 nos arroja la siguiente información de concentración:



Con una concentración máxima de $177.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a una distancia de 986 m., una altura de pluma máxima de 721,43 m, entre los 1700 y 2600 m de distancia desde la fuente fija, y una dispersión lateral σ_y , mostrada en el siguiente gráfico:

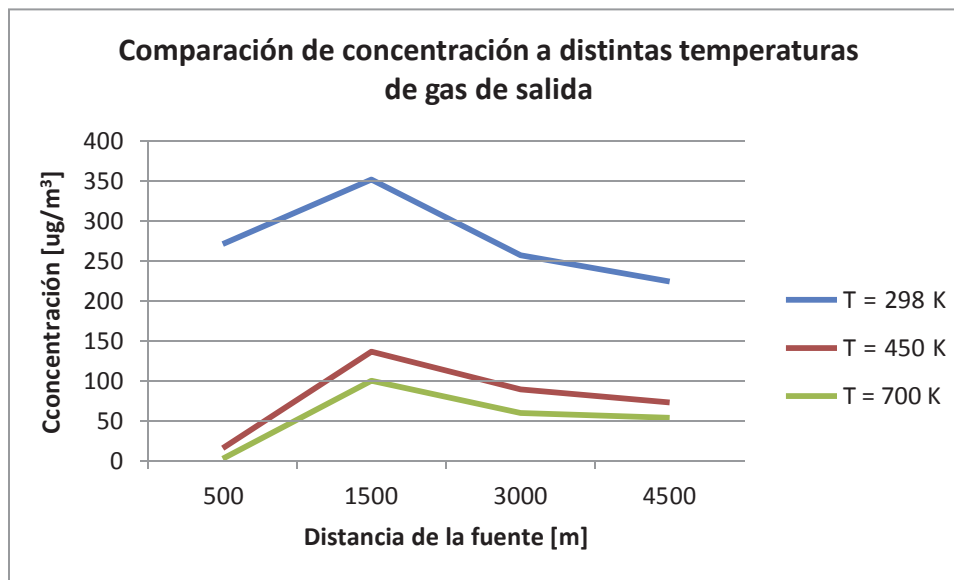


La modelación anterior, servirá como patrón principal de comparación, en ella es posible modificar una serie de parámetros como datos de entrada o escenarios, para verificar su trascendencia en la concentración final.

a) **Temperatura:** Manteniendo los datos de entrada de la simulación de punto ficticia, podemos hacer una serie de simulaciones solo variando la temperatura de salida de los gases, para así corroborar su impacto en la concentración final. (Concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 6: Comparación de concentraciones de pluma a distintas temperaturas de gas de salida

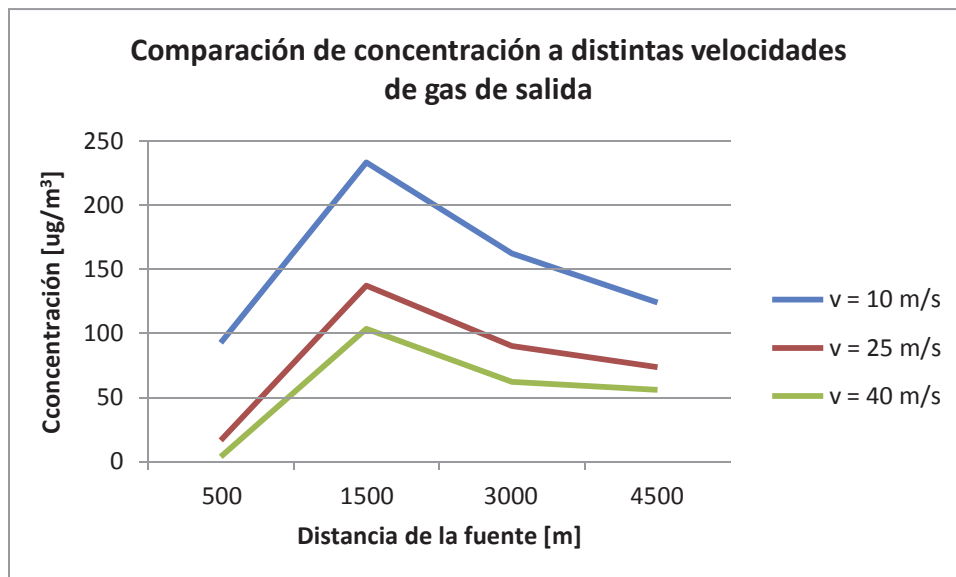
	Concentración 500 m.	Concentración 1500 m.	Concentración 3000 m.	Concentración 4500 m.
T° = 298 K	271,2	351,8	257,1	224,6
T° = 450 K	16,2	136,9	89,73	73,35
T° = 700 K	2,78	100,7	60,15	53,99



b) Velocidad de los Gases de Salida: En esta oportunidad, la simulación patrón tendrá una variación solamente en la velocidad de los gases de salida.

Tabla 7: Comparación de concentraciones de pluma a distintas velocidades de gas de salida

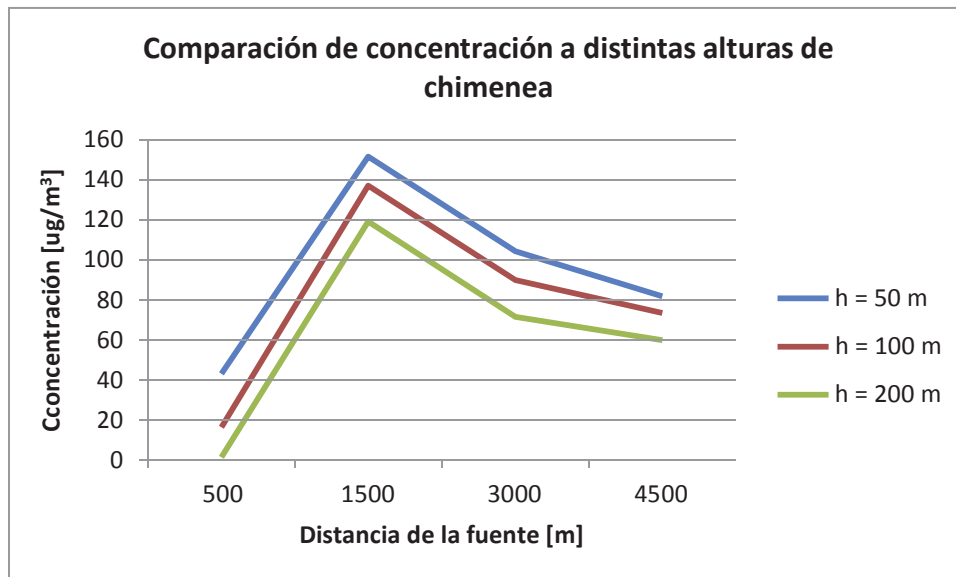
	Concentración 500 m.	Concentración 1500 m.	Concentración 3000 m.	Concentración 4500 m.
V = 10 m/s	92,17	233,2	161,9	123,8
V = 25 m/s	16,2	136,9	89,73	73,35
V = 40 m/s	3,29	103,3	61,71	55,53



c) **Altura de la Chimenea:** La simulación patrón presenta una variación de la altura de la chimenea de la fuente.

Tabla 8: Comparación de concentraciones de pluma a distintas alturas de chimenea

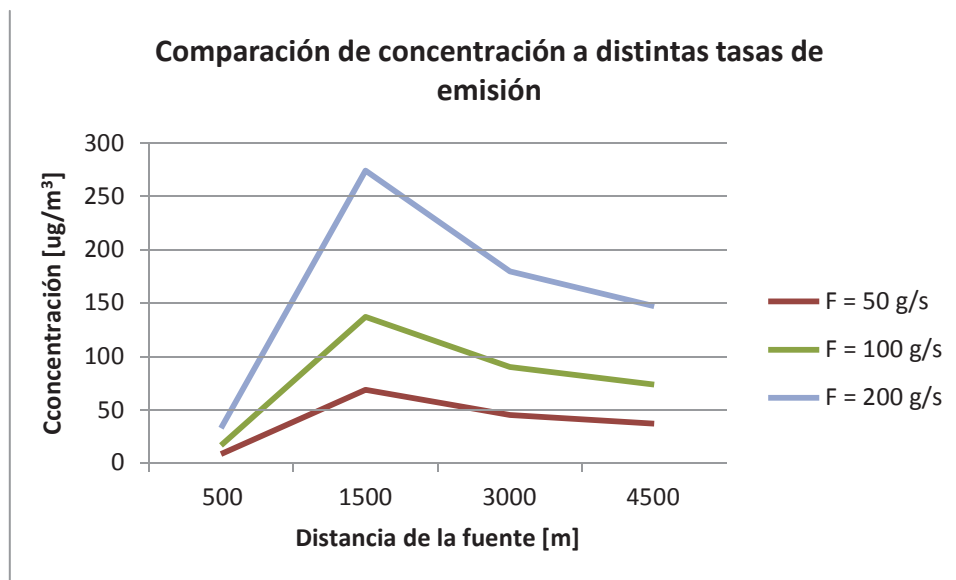
	Concentración 500 m.	Concentración 1500 m.	Concentración 3000 m.	Concentración 4500 m.
H = 50 m	42,85	151,4	104,1	81,66
H = 100 m	16,2	136,9	89,73	73,35
H = 200 m	1,18	119	71,32	59,66



d) Tasa de Emisión: La simulación patrón presenta una variación solamente de la cantidad de su tasa de emisión de contaminantes.

Tabla 9: Comparación de concentraciones de pluma a distintas tasas de emisión

	Concentración 500 m.	Concentración 1500 m.	Concentración 3000 m.	Concentración 4500 m.
F = 50 g/s	8,09	68,47	44,87	36,67
F = 100 g/s	16,2	136,9	89,73	73,35
F = 200 g/s	32,4	273,9	179,5	146,7



e) Fumigación: Los cálculos de fumigación se deben realizar cuando la fuente de emisión se encuentra a menos de 3000 m del océano. Se debe indicar la distancia exacta entre la fuente y el litoral, donde el SCREEN3 entregará los mismos datos de operación, además de los siguientes datos:

- Concentración máxima de fumigación (y la distancia a la fuente)
- Concentración de la pluma en el litoral del océano (Siempre y cuando la pluma tenga una altura estable)

• **Meteorología:** Se recomienda usar la opción “Meteorología Completa”, que abarca todas las clases de estabilidades del viento y sus velocidades, pero hay que tener en cuenta que existen otras opciones. A continuación se hará uso de la opción “Clase de Estabilidad Sencilla”, que permite escoger entre una de las seis opciones de estabilidad de viento:

- i. Muy Inestable (A)
- ii. Inestable (B)
- iii. Ligeramente Inestable (C)
- iv. Neutral (D)
- v. Ligeramente Estable (E)
- vi. Estable (F)

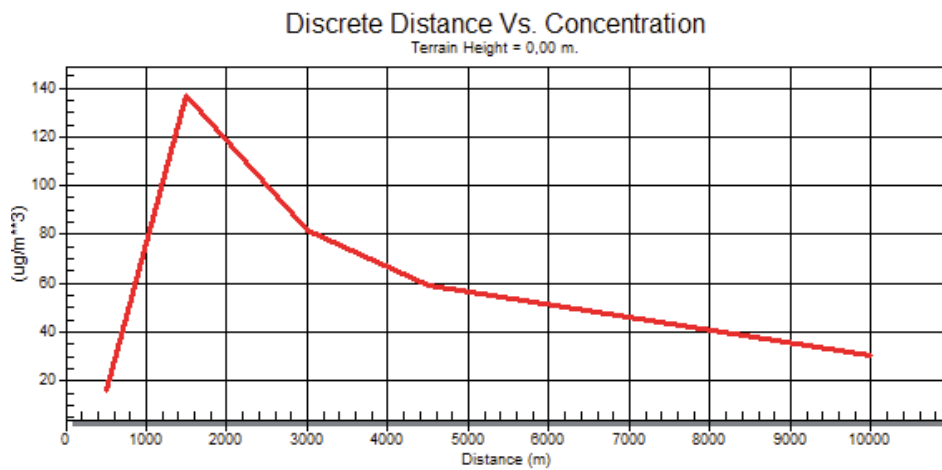
Se usará cada una de las estabildades, con los datos de entrada de la modelación patrón, para denotar la incidencia de las estabildades eólicas en las concentraciones finales.

Tabla 10: Comparación de concentraciones de pluma a distintas estabildades atmosféricas

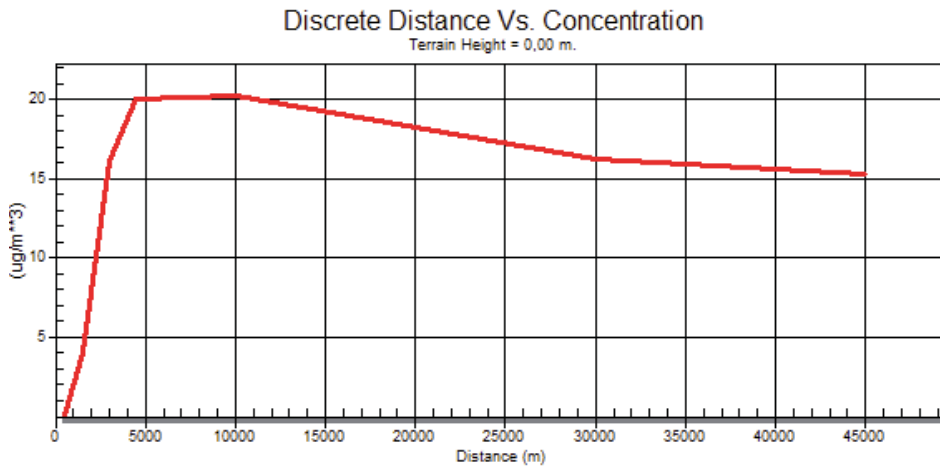
	Concentración 500 m.	Concentración 1500 m.	Concentración 3000 m.	Concentración 4500 m.
A	16,2	136,9	81,81	59
B	0,46	60,66	89,73	73,35
C	0.3607E-01	40.24	47.68	56.67
D	0.1531E-03	4.008	16.12	19.99
E	0.8953E-04	0.1644E-01	0.6401	3.027
F	0.3559E-07	0.3454E-04	0.6094E-02	0.5693E-01

Además se presentan gráficos de las estabildades A, D, F y de todas las estabildades en conjunto.

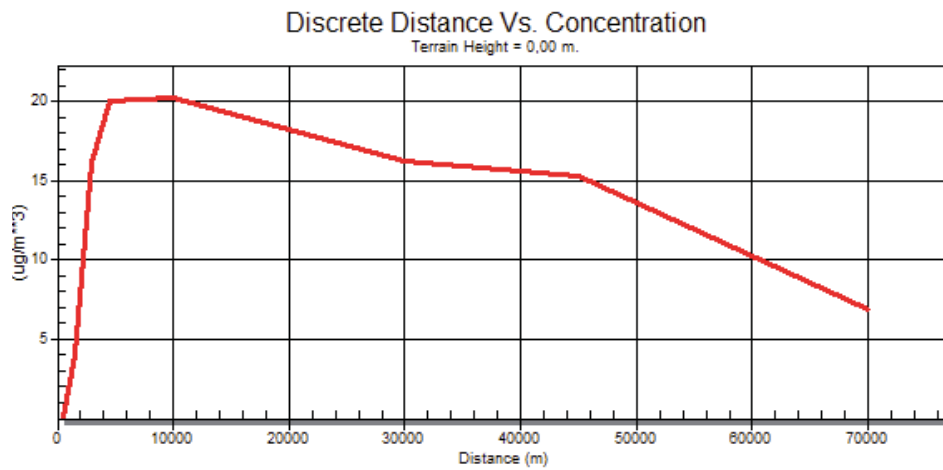
- **Estabilidad A**

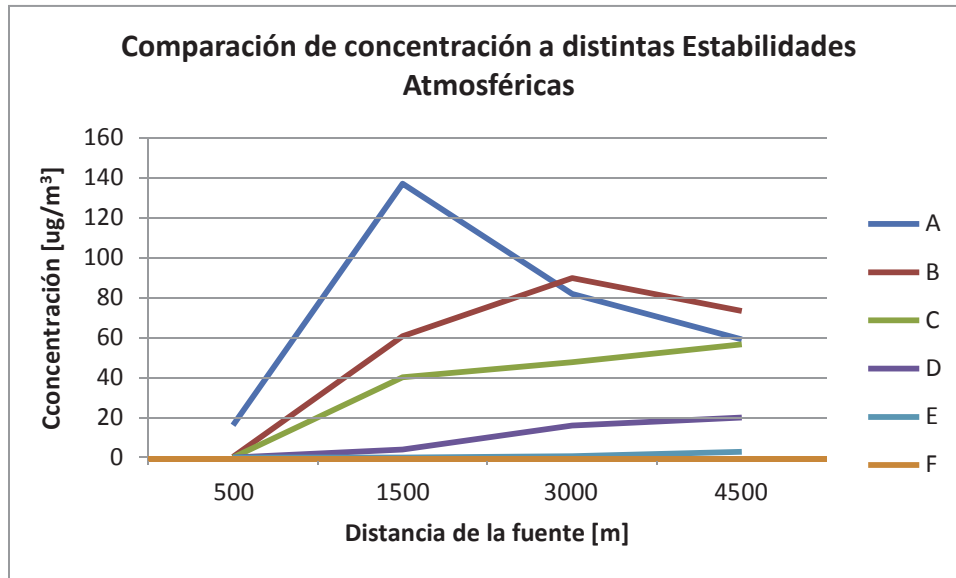


- **Estabilidad D**



- **Estabilidad F**





La tercera opción meteorológica es “Especificación de una sola clase de Estabilidad y Velocidad del viento”, opción que se utiliza cuando se maneja información fehaciente sobre la meteorología de la zona. Al igual que la opción anterior, es necesario indicar la clase de estabilidad eólica de la zona a modelar, pero además, es necesario indicar su velocidad de viento específica.

Cada estabilidad atmosférica, tiene un rango diferente de velocidades eólicas, como se mencionó en la descripción de SCREEN3 y en la Tabla 4.

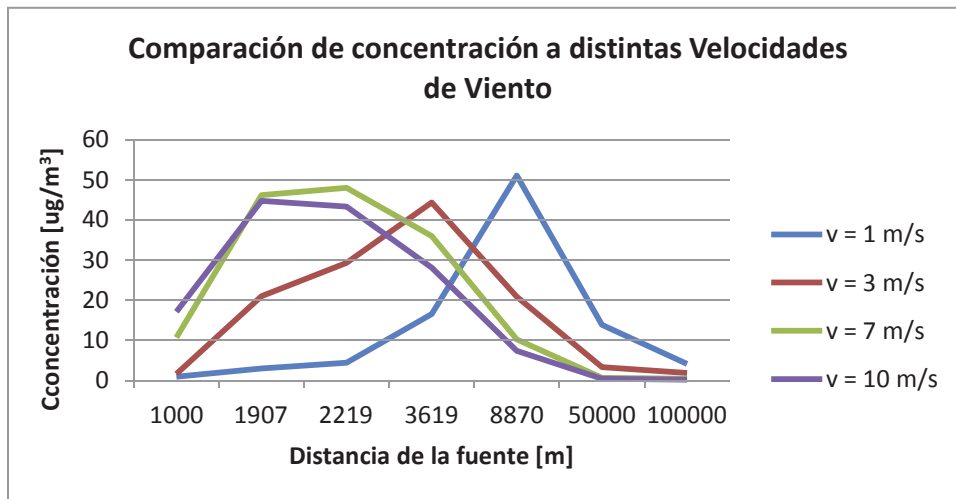
- Muy Inestable (A) = (1 – 3 m/s)
- Inestable (B) = (1 – 5 m/s)
- Ligeramente Inestable (C) = (1 – 10 m/s)
- Neutral (D) = (1 – 20 m/s)
- Ligeramente Estable (E) = (1 – 5 m/s)
- Estable (F) = (1 – 4 m/s)

La Tabla 11 presenta un cuadro comparativo sobre la máxima concentración de la pluma y la distancia desde la fuente de emisión, respecto a diferentes velocidades eólicas, bajo una clase de estabilidad tipo C (Ligeramente Inestable).

Tabla 11: Máxima concentraciones y distancias de la fuente a diferentes velocidades eólicas, en una clase de estabilidad atmosférica C

	Máxima Concentración	Distancia de la Fuente
1 m/s	50,96	8780
3 m/s	44,9	3619
7 m/s	47,93	2219
10 m/s	44,7	1907

Además se adjunta un gráfico comparativo de la estabilidad C, con distintas velocidades eólicas.



5.1.1 Análisis de los Resultados Obtenidos

En base a los gráficos y tablas de las distintas suposiciones, se puede apreciar que a medida que la temperatura de las emisiones aumenta, los valores de concentración final de la pluma disminuyen, siempre y cuando se mantengan constantes los otros parámetros de entrada. Esto ocurre porque la densidad de los gases disminuye por el aumento de la temperatura, asumiendo que mantenemos la presión de ellos. Lo cual queda demostrado en la ley de los gases ideales:

—

Donde:

El aumento de temperatura, provoca que la pluma sea menos densa que el aire, haciendo que flote. La combinación de momentum y flotabilidad, provocará que la pluma se eleve en forma vertical, a una altura mayor en la atmósfera, aumentando su volumen, disminuyendo su concentración.

Un efecto similar al aumento de temperatura, ocurre al aumentar la velocidad de los gases de salida, lo que también provoca una disminución de la concentración de la pluma. El mismo fenómeno ocurre al ir aumentando la altura de la chimenea, son inversamente proporcionales.

La concentración de componentes en la pluma es directamente proporcional a la tasa de emisión desde la chimenea, es decir, si aumento la tasa de emisión, aumentará la concentración en la pluma, igualmente, si disminuyo la tasa de emisión desde la fuente fija, disminuirá la concentración en la pluma.

Los aspectos meteorológicos son los parámetros que provocan más cambios en la concentración final de componentes. Como se aprecia en los gráficos y tablas de estabildades de viento vs concentración a diferentes distancias, a medida que aumenta la clase de estabilidad eólica, es decir, que los vientos sean más estables, disminuyen tanto la concentración de la pluma, como su punto máximo, pero además se incrementa el radio de distancia en que se dispersan los contaminantes. Por lo tanto, la estabilidad eólica es inversamente proporcional a la concentración final, pero directamente proporcional a la distancia afectada por la pluma.

En cuanto a la incidencia de la velocidad del viento en el propagación de la pluma dentro de una misma estabilidad, a partir de la Tabla 12, se puede apreciar que a medida que se incrementa la velocidad del viento, disminuye la concentración de componentes en la pluma y su distancia alcanzada también presenta una disminución en ámbitos de radio o alcance.

5.3 Modelación con Datos Reales

Criterios de Modelación

Basándose en las distintas opciones de modelación que incluye el SCREEN 3, descritas anteriormente, se han adoptado una serie de criterios para modelar las emisiones de la fuente fija a considerar. Dichos criterios son decisiones de acuerdo a establecer una fuente fija, consideraciones de terreno, contaminantes a analizar y modelar, tipo de meteorología a escoger, tiempos de faena y otros.

Búsqueda de Información

Los datos usados han sido el resultado no solamente de información e investigación bibliográfica, datos de muestreo, informes propios de Cemento Melón y libros sobre modelos de dispersión atmosférica. También se han realizado reuniones y entrevistas con profesionales de áreas afines, tales como:

- Srta. Yeni Cataldo, Meteoróloga, Universidad de Valparaíso
- Sr. Lizandro Arancibia, Geógrafo, I. Municipalidad de La Calera
- Sr. Guillermo Alegría, Ingeniero Ambiental, I. Municipalidad de La Calera
- Sr. Santiago Flores, Arquitecto

5.3.1 Fuente Fija

Como fuente fija se tomará la chimenea principal de la fábrica Cemento Melón S.A. de La Calera, V Región Chile. Dicha chimenea es una de las principales vías de dispersión atmosférica de contaminantes dentro de la Comuna de La Calera.

A continuación se describen los datos técnicos básicos de la chimenea, como fuente fija, necesarios para realizar la modelación (Datos Promedio de Operación, utilizados en todas las modelaciones).

Tabla 12: Datos de entrada para la modelación real

Parámetro	
Diámetro Interno	1,5 m.
Altura	70 m.
Temperatura de Salida de Emisiones	431 K
Velocidad de Salida de Emisiones	25,5 m/s

5.3.2 Terreno de Trabajo

Respecto a los datos de entrada de terreno, se utilizarán datos geográficos reales del Valle del Aconcagua de aproximadamente un radio de 5 km dejando como centro la fuente fija. La razón de esta determinación, es que por sobre 5 km. de radio, respecto a la fuente fija, los datos otorgados por la modelación en SCREEN3, van disminuyendo su grado de precisión y acierto, sobretodo si este modelo se aplica en localidades con relieve complejo y caracterizados por circulaciones atmosféricas complejas (USEPA, 1986, 1987, 2003a; CNEAA, 1997; WBG, 1998; EEA, 1999).

En base a lo anterior, se presentarán dos tipos de escenarios diferentes:

1.- Consideración de Terreno Plano: Se modelará en el supuesto que todos los receptores se encuentran a la misma altura con respecto a la base de la fuente fija, sin considerar la topografía de terreno.

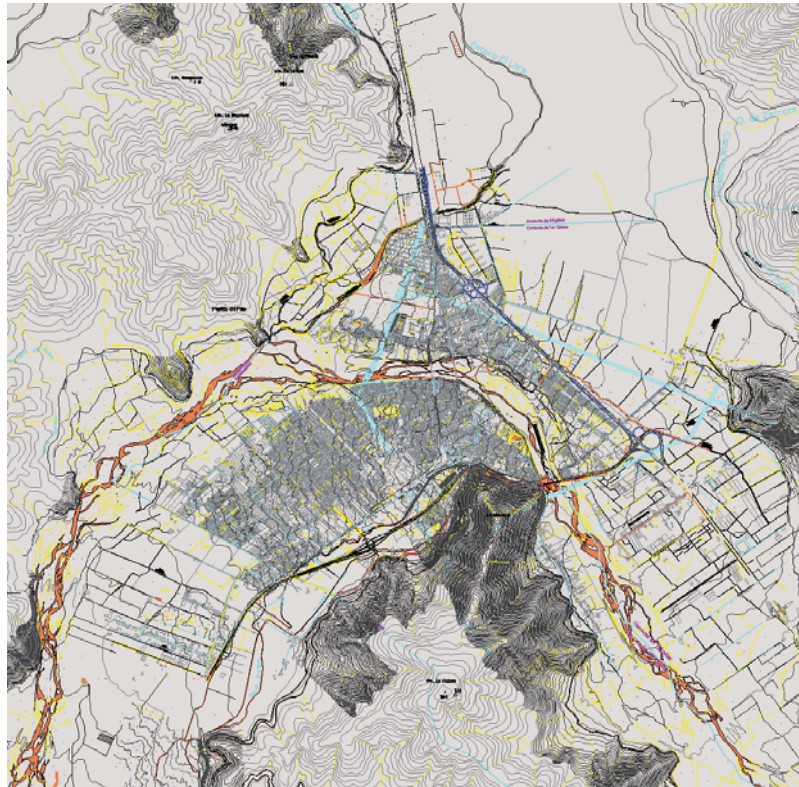
2.- Consideración de Terrenos Complejos: Se modelará teniendo en cuenta todos los accidentes geográficos (montes, cerros, etc), que se encuentran por sobre la altura de la chimenea, dentro del área de trabajo.

A continuación se presenta un resumen de las alturas y distancias de los accidentes geográficos dentro de la zona de trabajo, donde se indica la altura del accidente y la distancia desde la fuente fija.

Tabla 13: Detalle de los terrenos complejos en la zona trabajada

	Altura (m) sobre el nivel del mar	Distancia (m) desde la fuente fija
Fuente Fija	210,58	0
Puntilla de López	466,2	1039,3
Cerro 2 La Calera	486,2	1228,3
Cerro La Cruz	554,3	1477,2
Cerro La Calera	762	2401,3
Puntilla del Pino	238,3	2702,2
Cerro Pucalán	238,8	3183,7
Cerro Nogales	285,4	3317,6
Monte El Naranjillo	590	4796,5
Monte La Cruz	653	5595
Cerro Bellavista	736	5532

Figura 16: Mapa de la zona trabajada



Para efectos del uso de los coeficientes de dispersión vertical y horizontal, se ha establecido un Ambiente Urbano, ya que cerca del 85% de la población de la zona a trabajar posee dicha característica, y la fuente fija también se encuentra en esta condición. Respecto a las características urbanas, a pesar de no contar con datos brutos acerca de las diferentes edificaciones de la zona, si se sabe que no existen edificios que superen la altura de la chimenea en la ciudad, por lo tanto, las construcciones no tendrían un mayor efecto en las modelaciones.

Respecto a los datos de emisiones, se trabajará con registros de emisiones propios de Cemento Melón S.A. del año 2011, en base a los siguientes contaminantes:

- Anhídrido Sulfuroso, SO₂
- Material Particulado, MP10
- Dióxido de Nitrógeno. SO₂
- Ozono, O₃.

Aparte de los anteriormente mencionados, la fuente fija presenta emisiones constantes de:

- Compuestos Orgánicos Volátiles
- Dióxido de Carbono
- Monóxido de Carbono

No se efectuará la modelación de dispersión atmosférica de CO y CO₂, debido a la falta de información, emisiones y monitoreo por parte de la fuente fija. Sin embargo, a pesar de contar con datos numéricos en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, es sabido que el CO y CO₂ monitoreados en la zona, no son resultados exclusivos de la fuente fija, sino que también, son provenientes de automóviles, chimeneas caseras, quema de pastizales, basurales y otros.

Tabla 14: Detalle de las emisiones de SO₂ y MP10 en la zona a modelar durante el año 2011

Mes	Anhídrido Sulfuroso				MP10		
	Máximo Horario	Máximo Diario	Promedio Mes	Promedio Acumulado	Máximo Diario	Promedio Mes	Promedio Acumulado
Enero	80	19	7	7	67	54	54
Febrero	93	20	7	7	92	58	56
Marzo	101	16	8	7	95	60	57
Abril	82	16	6	7	72	56	57
Mayo	97	26	6	7	93	70	60
Junio	68	22	9	7	81	59	60
Julio	67	13	6	7	90	53	59
Agosto	64	23	8	7	66	47	57
Septiembre	98	16	7	7	77	56	57
Octubre	136	13	6	7	74	47	56
Noviembre	38	11	5	7	84	53	56
Diciembre	66	15	5	7	80	60	56
Norma	1000	250	-----	80	150	-----	50

Tabla 15: Detalle de las emisiones de NO₂ y O₃ en la zona a modelar durante el año 2011

Mes	Dióxido de Nitrógeno			Ozono		
	Máximo Horario	Promedio Mes	Promedio Acumulado	Máximo Horario	Promedio 8 Horas	Promedio Mes
Enero	50	9	9	75	59	15
Febrero	47	11	10	69	49	16
Marzo	49	9	10	93	66	18
Abril	41	11	10	84	54	14
Mayo	80	11	10	90	55	11
Junio	72	9	10	42	26	7
Julio	30	7	10	43	37	8
Agosto	80	14	10	53	41	11
Septiembre	60	14	11	100	65	17
Octubre	58	12	11	92	63	20
Noviembre	54	11	11	90	74	19
Diciembre	46	10	11	69	49	17
Norma	400	-----	100	160	120	-----

Es necesaria una explicación acerca de las expresiones usadas en las tablas anteriores, para así explicar las razones de trabajo con cada uno de los datos.

Promedio y Máximo horario: El promedio horario corresponde al que se calcula con los valores medidos entre el minuto uno y el minuto 60 de la hora. Para el caso de monitores continuos de gases, debe calcularse sobre el promedio de las mediciones realizadas durante cinco minutos consecutivos, es decir, el promedio horario se obtendrá de promediar aritméticamente 12 valores promedio. En el caso de los medidores continuos de material particulado, el valor promedio horario se calculará sobre el promedio de las mediciones realizadas durante 15 minutos consecutivos, es decir, el promedio horario se obtendrá de promediar aritméticamente 4 valores promedio. El valor conocido como "Máximo Horario", se refiere a la medición con mayor concentración efectuada durante una hora continua de medición.

Promedio y Máximo diario: El promedio diario es aquel que se calcula con la información medida entre la hora 0 y la hora 23 a partir de los promedios diarios. El promedio diario deberá calcularse con al menos 18 valores de promedio. En la medición de material particulado con equipos basados en el método gravimétrico de alto y bajo volumen, el promedio diario se calculará sobre la base de 18 horas continuas de medición. El "Máximo Diario" se refiere a la medición con mayor concentración en base a un mínimo de 18 promedios horarios medidos en el mismo día.

Promedio Mes: Se refiere al promedio de valores de concentración de todo un mes, teniendo como datos de entrada los valores promedio de cada día del mes de trabajo.

Promedio Acumulado: Se refiere al promedio de valores de concentración medidos desde Enero hasta el mes en que se calcula dicho promedio, teniendo como datos de entrada los promedios mensuales involucrados.

A partir de las definiciones anteriores y el desglose registros de emisiones propios de Cemento Melón S.A. del año 2011, se presentan los valores de trabajo de modelación para todos los componentes a analizar y modelar:

Tabla 16: Detalle de los valores máximos y promedios acumulados de los parámetros a modelar

	Valor Máximo Medido (ug/m³)	Promedio Acumulado Anual (ug/m³)
Anhídrido Sulfuroso SO₂	136	7
MP10	95	56
Dióxido de Nitrógeno NO₂	80	11
Ozono O₃	100	17

Como se aprecia en la Tabla 16, se asumirán dos escenarios diferentes y supuestos. Uno con el Valor Máximo medido de los diferentes componentes durante el año 2011 (Valor medido exclusivamente mientras la chimenea está en funcionamiento), y otro referente al Promedio Acumulado Anual del mismo año (Promedio acumulado es una medición que se efectúa incluso cuando la chimenea no está operando). La razón del uso del valor máximo, tiene relación con la de calidad 19.300, que establece la consideración de estado de los elementos y datos en su condición más desfavorable.

Además se asume que la emisión proveniente de las fuentes es constante en el tiempo, es decir las 24 horas del día y los 365 días del año. Esta estimación se realizó debido a que no se obtuvo información que proporcionara las horas o los días específicos de funcionamiento, sino sólo el número total de horas por día y el total de días por año.

La meteorología a usar será la del tipo Completa (Todas las estabilizaciones y velocidades eólicas), con una clase de estabilidad del tipo E, y una velocidad de viento de 2,5 m/s, que son los niveles promedios que se presentan en la zona a trabajar, además que no se cuenta con información relativa a la altura sobre el nivel del suelo a la cual fueron observadas las variables meteorológicas, así como alguna indicación de las alturas de la capa de inversión térmica u otras características relevantes de la zona en estudio.

5.3.4 Resultados

Los resultados y los análisis están agrupados de acuerdo a las distintas instancias, valores de emisiones, contaminantes y escenarios de modelación (terreno plano y terreno complejo). Los resultados se presentan en gráficos de concentración vs. distancia desde la fuente fija, presentando su curva de tendencia. Los gráficos que se presentan a continuación fueron elaborados a partir de los archivos de salida del SCREEN3.

Además se presenta un análisis de tipo numérico de las concentraciones estimadas en base a los archivos de salida del modelo, y esquemas comparativos entre tipografía geográfica.

5.3.5 Resultados de la Pluma

La altura que alcanza la pluma de las emisiones de la fuente fija no depende de la concentración de contaminantes en ella. No obstante, depende de la altura de la chimenea, la temperatura de salida de las emisiones y su velocidad. Al ser estos datos (h chimenea, T° de salida, v), constantes para los diferentes contaminantes, debido a que se trabaja con datos promedio de

operación, indicados en la Tabla 16, la pluma alcanzará una altura máxima de 348,18 ms. por sobre la altura base de la chimenea o 558,76 ms. por sobre el nivel del mar, a una distancia de 535,2 metros de distancia de la fuente fija, y se mantendrá en esa altura por unos 400 metros más, hasta comenzar a decaer. Dicha pluma se desplazará según la dirección del viento, que como sabemos no es constante, sin embargo, siempre existirá una tendencia de dirección, con parámetros de dispersión laterales crecientes de 488,93 m, a los 5000 m de distancia de la fuente fija (zona trabajada).

Los vientos predominantes de la zona trabajada usualmente tienen dirección S-SW ocasionados por el anticiclón del Pacífico Sur, manifestándose en primavera y verano. Los vientos N y NW se presentan en el período invernal, son determinados por las alturas N y NE, no son los más constantes, pero si los más notorios porque son los portadores de lluvias.

5.3.6 Resultados de Concentraciones para Terreno Simple

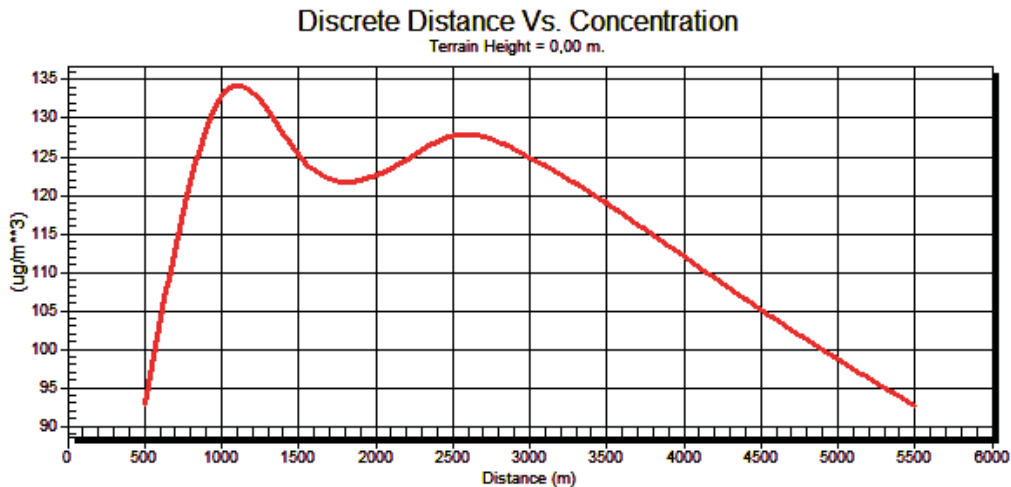
Debido a que las modelaciones de las diferentes concentraciones (Anhídrido Sulfuroso, MP10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono), han sido efectuadas en base a los mismos datos de operación de la fuente fija (Datos promedio de Temperatura = 431 K, Velocidad de Salida 25,5 m/s), las curvas arrojadas por el SCREEN3 serán las mismas, diferenciándose entre sí por la cantidad de concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respecto a la distancia de la fuente fija.

Además el SCREEN3 respecto a las concentraciones presentadas y los datos de operación, permite extrapolar el flujo de emisión inmediato desde la fuente fija en gramos por segundo o libra por hora hacia la atmósfera.

Concentraciones de Anhídrido Sulfuroso SO₂

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011.
(136 ug/m³, Octubre).

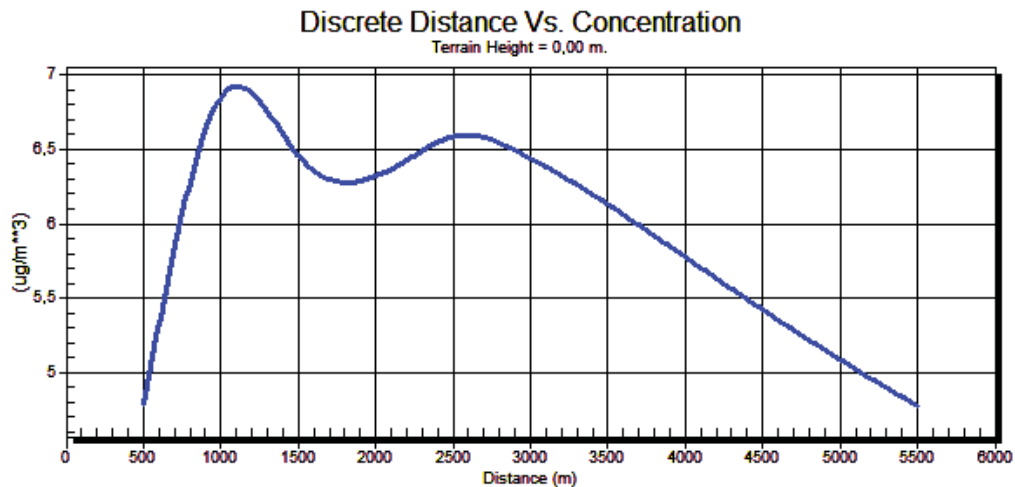
Flujo de salida de la chimenea: 41,51 g/s (extrapolado)



Respecto al gráfico anterior, se observa una notoria depresión en la concentración por metro cúbico entre los 1500 y 2000 metros, lo cual es provocado por el principio de acción y reacción en la pluma, que cuando alcanza su altura máxima a los 535,2 metros de distancia de la fuente fija, comienza a descender con una serie de expansiones y compresiones volumétricas, por una distancia de al menos unos 1000 metros, hasta estabilizarse finalmente y comenzar a dispersarse. Dicha estabilización y descenso se ven reflejados en la disminución de la concentración por metro cúbico a partir de los 2500 metros de distancia de la fuente fija.

Cabe destacar que incluso ya a una distancia de cinco kilómetros de distancia de la fuente fija, la concentración por metro cúbico aún presenta valores cercanos a 95 ug.

b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 (7 ug/m^3).



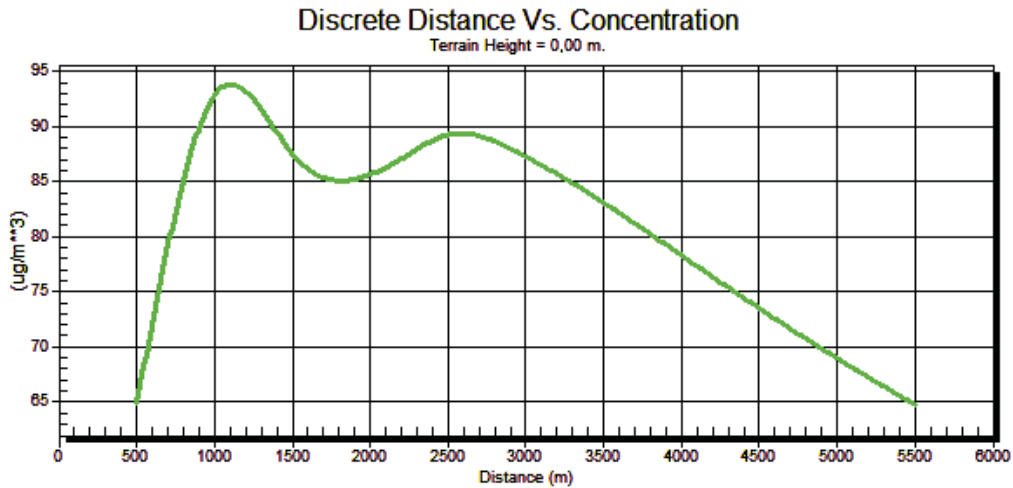
Flujo de salida de la chimenea: 2,14 g/s (extrapolado)

Se puede apreciar que la curva arrojada por el SCREEN3, es idéntica a la curva presentada en el gráfico anterior, debido a que los datos de velocidad de emisión, temperatura, altura y diámetro interno de la chimenea provenientes de la fuente fija, son los mismos. La única variación es la cantidad de concentración presentada a lo largo del área trabajada, debido a que en esta ocasión se ha trabajado con el valor promedio anual de concentración.

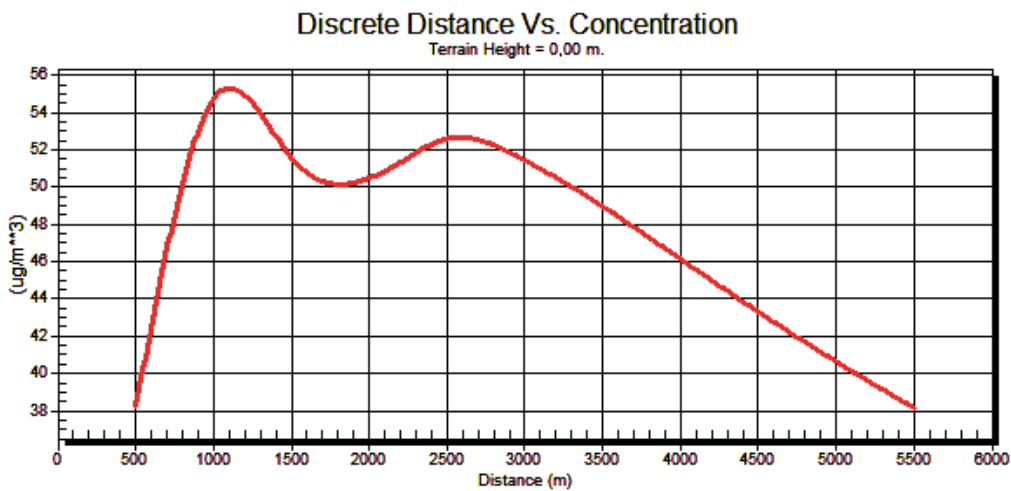
Concentraciones de MP10

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011.
(95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Marzo).

Flujo de salida de la chimenea: 29 g/s (extrapolado)



- b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 (56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

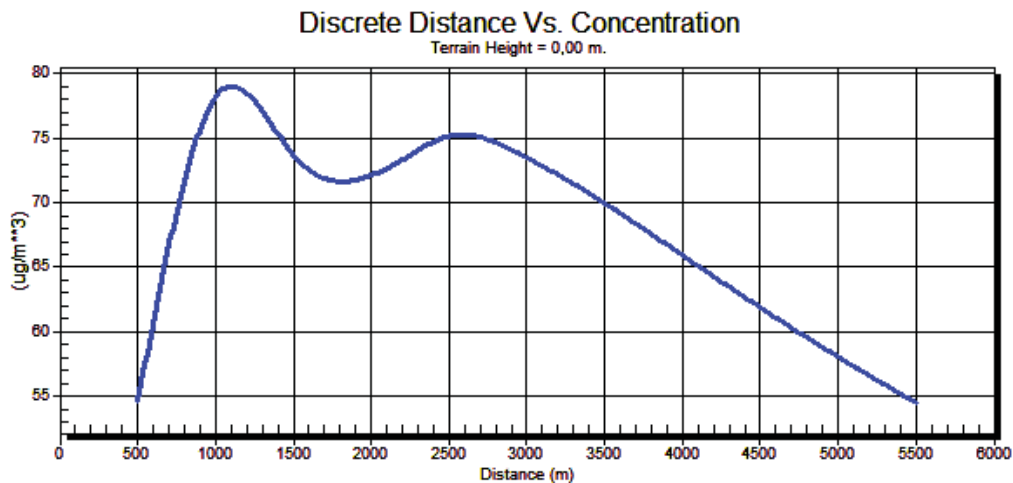


Flujo de salida de la chimenea: 17,09 g/s (extrapolado)

Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno NO₂ (Suponiendo Terreno Plano)

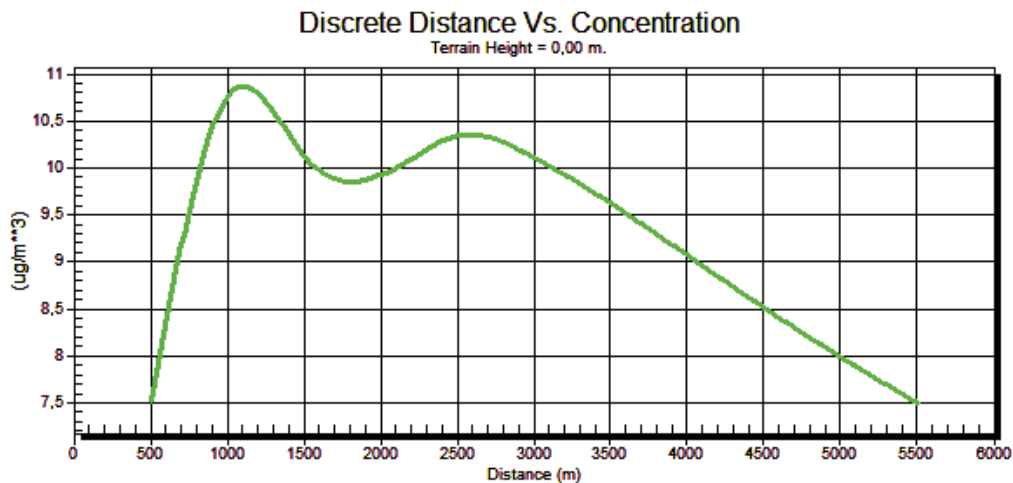
a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011 (80 ug/m³, Mayo y Agosto).

Flujo de salida de la chimenea: 24,42 g/s



b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 (11 ug/m³).

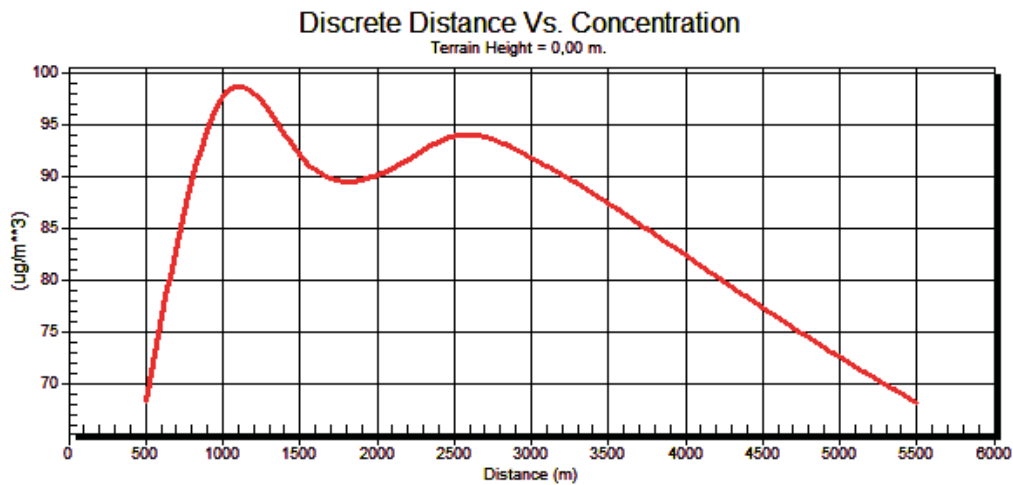
Flujo de salida de la chimenea: 3,36 g/s



Concentraciones de Ozono O₃

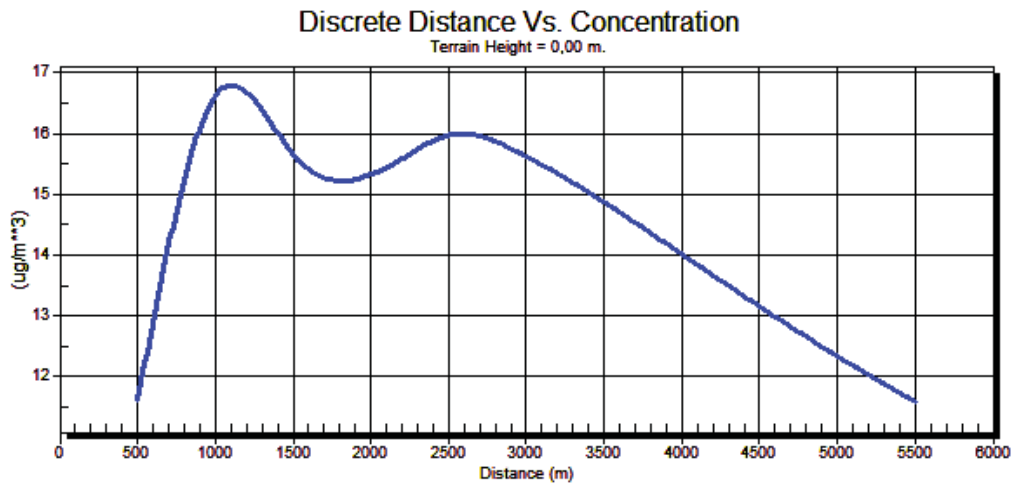
- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011 (100 ug/m³, Septiembre).

Flujo de salida de la chimenea: 30,53 g/s



- b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 (17 ug/m³).

Flujo de salida de la chimenea: 5,19 g/s



5.3.7 Concentraciones de Terrenos Complejos

Según lo apreciado en la Tabla 13, la zona trabajaba cuenta con una serie de terrenos elevados en comparación a la altura de la chimenea de la fuente fija (70 m), estos terrenos son de suma importancia al momento de modelar una dispersión atmosférica, debido a que generalmente la pluma impacta directamente a ellos, haciéndose una especie de "bloqueo", para el avance de la dispersión, siempre y cuando la dirección del viento sea la misma que su ubicación respecto a la fuente fija.

Según los datos meteorológicos de la zona trabajada, los vientos más constantes y usuales son los que corren entre las direcciones S y SW. Por lo anterior, los accidentes geográficos con más tendencia a que la pluma vaya contra de ellos son:

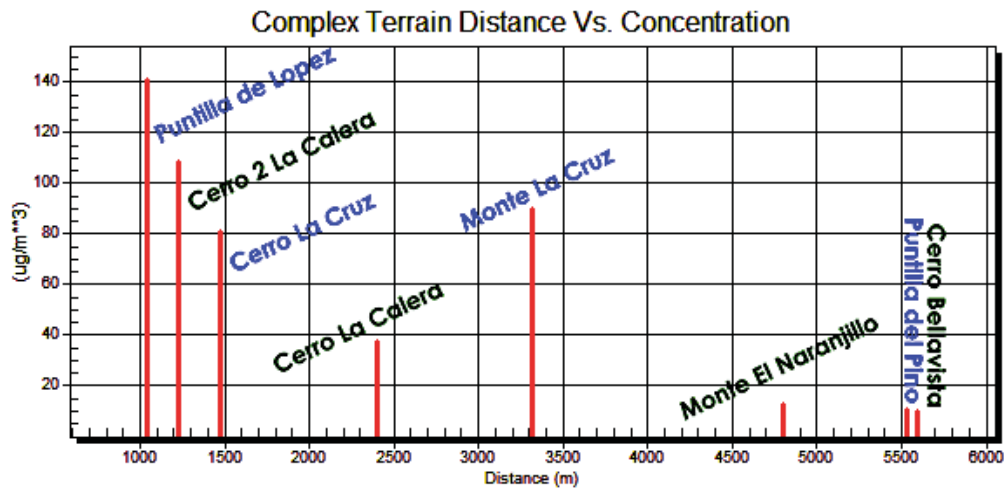
Tabla 17: Detalle de los terrenos complejos en dirección de los vientos predominantes

	Altura (m) sobre el nivel del mar	Distancia (m) desde la fuente fija
Cerro 2 La Calera	486,2	1228,3
Cerro La Cruz	554,3	1477,2
Cerro La Calera	762	2401,3
Monte El Naranjillo	590	4796,5

Los cuales se encuentran entre la dirección S y SW respecto a la fuente fija.

Concentraciones de Anhídrido Sulfuroso

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011.
(136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Octubre).

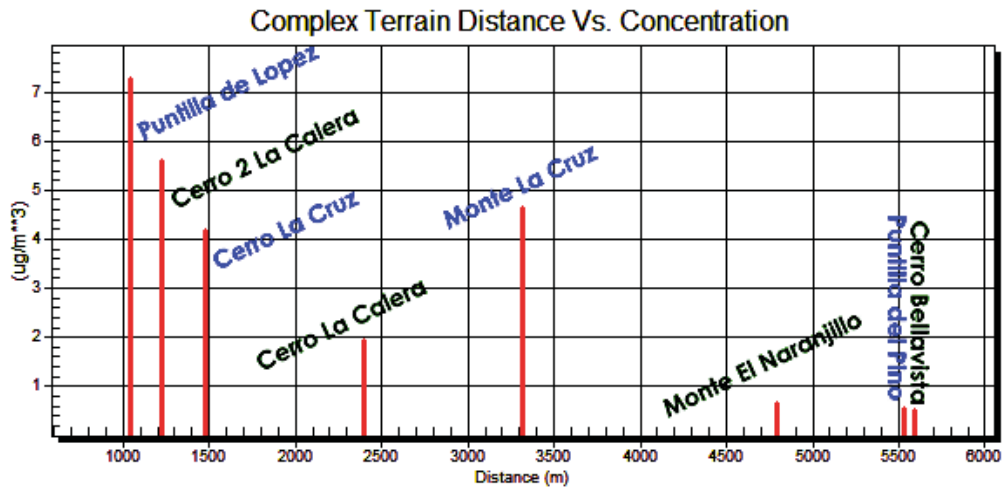


Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 18: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para SO_2 , suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	108,7	135,6
Cerro La Cruz	81,25	126,4
Cerro La Calera	37,84	127,6
Monte El Naranjillo	12,91	101,3

b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



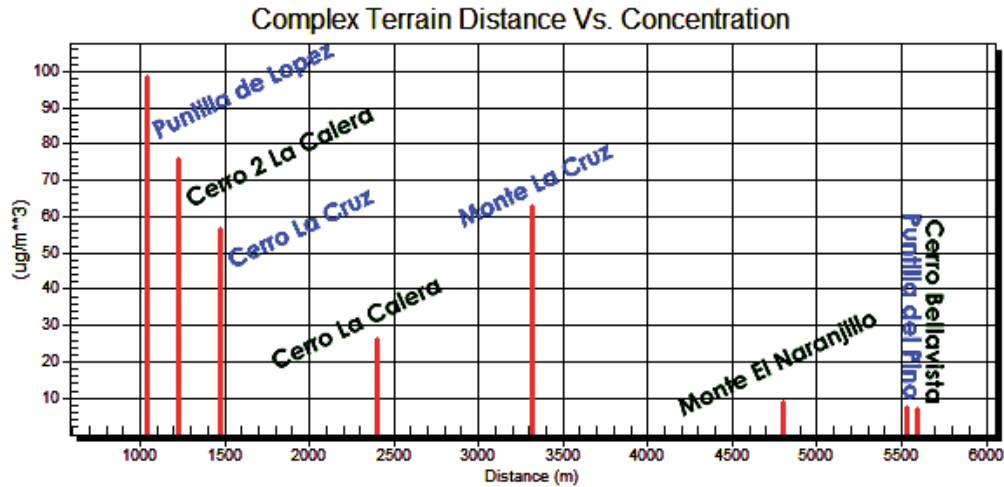
Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 19: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para SO_2 , suponiendo constante el valor promedio del año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	5,6	6,98
Cerro La Cruz	4,18	6,51
Cerro La Calera	1,95	6,57
Monte El Naranjillo	0,66	5,22

Concentraciones de MP10

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011.
(95 ug/m³, Marzo).

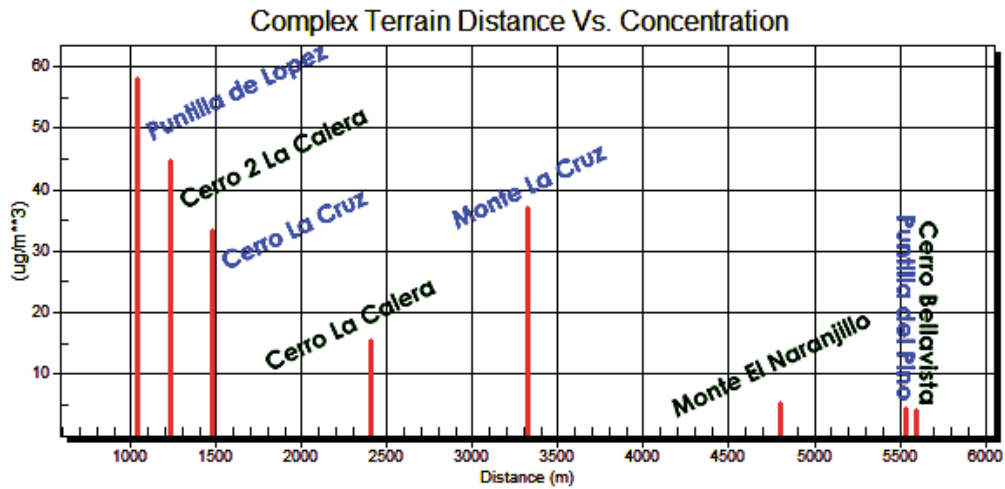


Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 20: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para MP10, suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011

	Concentración (ug/m ³)	Comparación a Terreno Simple (ug/m ³)
Cerro 2 La Calera	75,91	94,71
Cerro La Cruz	56,76	88,3
Cerro La Calera	26,44	89,12
Monte El Naranjillo	9,07	70,77

b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 ($56 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



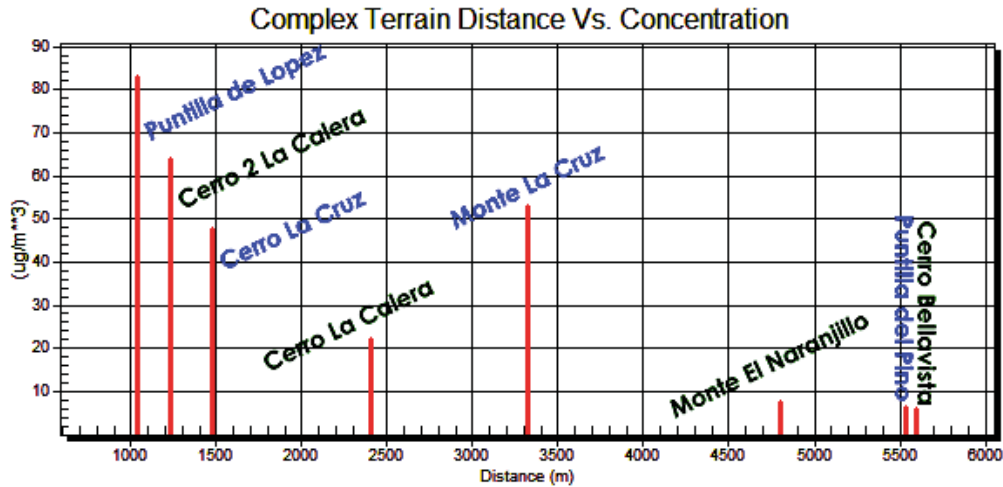
Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 21: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para MP_{10} , suponiendo constante el valor promedio del año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	44,74	55,81
Cerro La Cruz	33,45	52,03
Cerro La Calera	15,58	52,52
Monte El Naranjillo	5,3	41,71

Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011. (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mayo y Agosto).

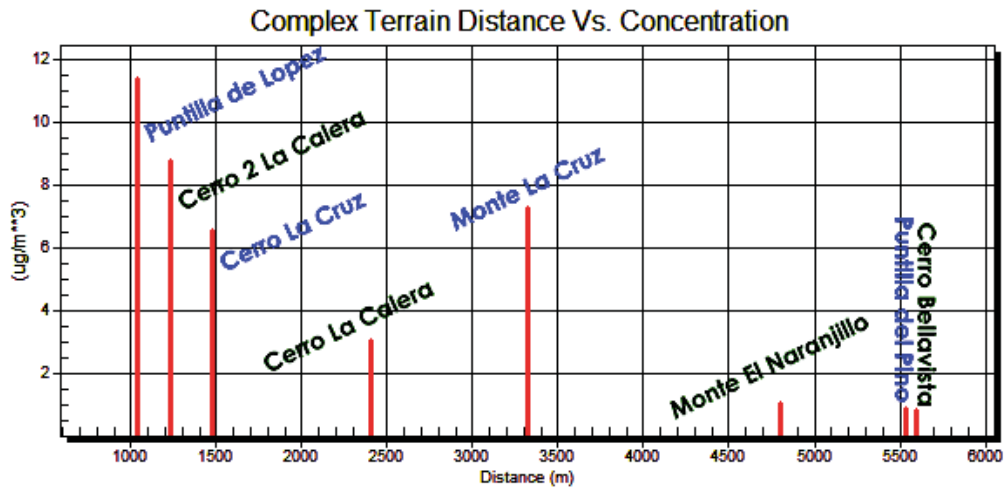


Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 22: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para NO_2 , suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	63,92	79,74
Cerro La Cruz	47,80	74,35
Cerro La Calera	22,26	75,05
Monte El Naranjillo	7,59	59,59

b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



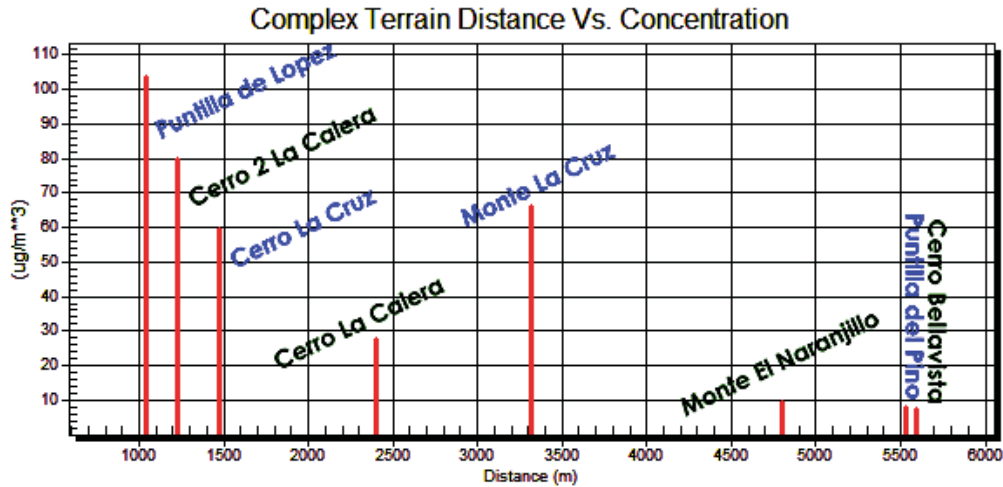
Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 23: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para NO_2 , suponiendo constante el valor promedio del año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	8,79	10,97
Cerro La Cruz	6,57	10,23
Cerro La Calera	3,06	10,33
Monte El Naranjillo	1,04	8,2

Concentraciones de Ozono

- a) Suponiendo constante el valor máximo medido durante el año 2011. (100 ug/m³, Septiembre).

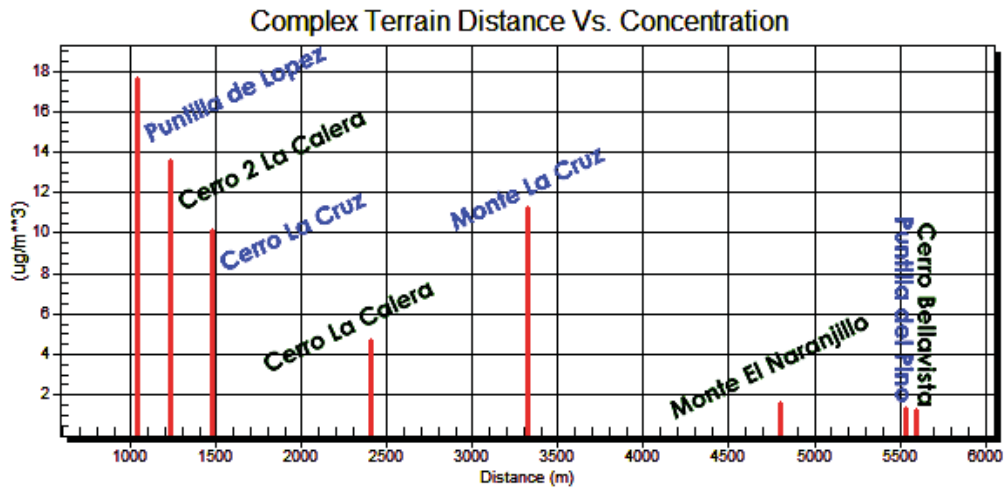


Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 24: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para O₃, suponiendo constante el máximo valor medido durante el año 2011

	Concentración (ug/m ³)	Comparación a Terreno Simple (ug/m ³)
Cerro 2 La Calera	79,92	99,71
Cerro La Cruz	59,75	92,96
Cerro La Calera	27,83	93,82
Monte El Naranjillo	9,49	74,50

b) Suponiendo constante el valor promedio del año 2011 ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Comparación de elevaciones dentro de la dirección S-SW con respecto a Terreno Simple:

Tabla 25: Comparación de la concentración de los terrenos complejos, con la misma distancia a terreno simple para O_3 , suponiendo constante el valor promedio del año 2011

	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Comparación a Terreno Simple ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cerro 2 La Calera	13,59	16,95
Cerro La Cruz	10,16	15,80
Cerro La Calera	4,73	15,95
Monte El Naranjillo	1,61	12,67

5.3.8 Análisis de los Resultados

En base a las tablas comparativas de concentración entre terreno plano o simple y terreno complejo, se puede apreciar que la modelación en terreno complejo arroja resultados de concentraciones bastante menores en comparación al terreno simple, a pesar de que se ocupen los mismos datos de entrada. Lo anterior es provocado por el choque de la pluma con el terreno en altura, que dispersa su avance, provocando un mayor volumen en ella, independiente de la dirección del viento.

Los resultados de las distintas modelaciones no significan una superación de las normas de calidad del aire en los alrededores de la fuente, ni en el avance de la pluma respecto a sus concentraciones en cada uno de los tipos de valores utilizados (mayor concentración registrada en el año y promedio anual).

En relación a la sensibilidad del modelo utilizado y su relación con las normas de calidad de aire en Chile, no es necesario aplicar ningún cambio en el sistema de operación y datos de entrada de la fuente fija, ya que habiéndose usado el máximo de concentración durante el año 2011, convertido según los factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo (Diario y Anual), respecto a los 5 kms de distancia de la fuente fija (distancia máxima del área de trabajo respecto a la fuente fija), no se sobrepasa la norma Chilena.

Tabla 26: Comparación de la máxima concentración registrada durante el año 2011, con la Norma Chilena Ambiental.

	ug/m ³		
	Max. Concentración 2011	Valor Diario (Factor 0,4)	Valor Anual (Factor 0,08)
SO₂	136	54,4	10,88
Norma (Diaria, Anual)		250	80
MP10	95	38	7,6
Norma (Diaria, Anual)		150	50
NO₂	80	32	6,4
Norma (Diaria, Anual)		--	100
		Valor 8 hrs (Factor 0,7)	
O₃	100	70	8
Norma (8 hrs, Anual)		120	--

Todos estos datos de entrada del año 2011, permitirán apreciar valores de salida muy similares en los próximos años, debido a que las condiciones atmosféricas, condiciones de faena y emisiones, y condiciones meteorológicas, han sido relativamente constantes en comparación a años anteriores.

6. CONCLUSIONES

A pesar que los modelos de dispersión atmosférica entregan resultados coherentes en base a las concentraciones de contaminantes en los diferentes escenarios de terrenos, tipos de faena y cercanía al mar, entre otros, sus consideraciones meteorológicas todavía son ambiguas, debido a que las condiciones atmosféricas en una zona siempre va cambiando (principalmente por razones estacionales), reflejándose en las velocidades y direcciones del viento, cantidad de humedad ambiental y radiación solar, por nombrar algunos, los cuales tienen una relación e importancia permanente y directa respecto al movimiento de una pluma y su capacidad de dispersión, lo cual puede provocar distintos errores u omisiones considerables.

El SCREEN3 es un modelo de dispersión atmosférica simple (de tipo gaussiano) versátil, debido a que con un mínimo de datos de entrada, otorga predicciones y resultados de concentraciones tanto para una variedad de situaciones supuestas, o situaciones con datos reales, como fue la modelación del Valle de La Calera, que cuenta con distintos accidentes geográficos y terrenos complejos. El SCREEN3, como otros modelos de dispersión atmosférica, también cuenta con falencias respecto a los enfoques meteorológicos, además que en zonas de menor urbanidad, como la estudiada, aún se presenta escasez de información básica lo que imposibilita una validación exhaustiva de la herramienta de modelación.

La meteorología cumple un papel importante en la modelación de dispersión atmosférica, ya que como analizó en la modelación de escenarios ficticios, un cambio de estabilidad eólica o un aumento o disminución de temperatura, pueden provocar cambios importantes en el comportamiento de la pluma, su propagación y concentración.

Según la modelación en SCREEN3, en condiciones reales, utilizando por ejemplo, las mayores concentraciones anuales presentadas, se ha evidenciado que los niveles de trabajo y emisiones atmosféricas de Cemento Melón S.A., no superan los límites máximos permisibles fijados por la legislación chilena, en los Decretos Supremos 59 (PM10), 112 (O₃), 113 (SO₂), 114 (NO₂) y Resolución 1215.

Referente a las comparaciones de concentraciones de contaminantes entre terreno simple y terreno complejo, efectuados con SCREEN3, se concluye que los accidentes geográficos de altura, provocan la disminución en la concentración atmosférica de contaminantes, en una misma distancia comparativa a un terreno simple. Además la temperatura de salida de la pluma y la velocidad con que sale de la chimenea, tienen un impacto en la concentración final de la pluma, ya que al aumentar estos parámetros, disminuye su concentración. Asimismo, al disminuir la tasa de emisiones, estamos también disminuyendo la dispersión de contaminantes atmosféricos. La concentración de la pluma disminuye con el incremento de la temperatura, debido a que su densidad disminuye, haciéndose la pluma menos densa que el aire atmosférico.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los modelos de dispersión, entregan predicciones viables, aún no son considerados como un enfoque metodológico confiable por la mayoría de los organismos medioambientales en Chile, como el SEIA (Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental). Esto ocurre por la falta de definición de objetivos para la aplicación de un modelo, justificación de la selección del modelo, análisis de los procesos involucrados, aseguramiento de calidad de la información utilizada, grado de precisión de los resultados y la validación de los resultados del modelo.

Las evaluaciones de impacto ambiental que se realizan en nuestro país utilizan modelos de dispersión atmosférica simples en base a la Ley 19.300, que hace referencia a procedimientos o metodologías utilizadas en la predicción y

evaluación de los impactos ambientales, los cuales deben ser debidamente justificadas y aplicadas. Sin embargo, los Centros de Impacto Ambiental, tanto públicos como privados, prefieren trabajar y basarse en los centros de monitoreo in situ de cada zona estudiada, debido a que entregan datos de concentraciones puntuales y reales, en comparación a los modelos de dispersión atmosférica que no capturan la variabilidad observadas en redes de monitoreo y son estas mismas los utilizados en proyectos medioambientales, toma de decisiones frente a problemas de contaminación, calidad de aire e impacto ambiental y predicciones como modelos preventivos.

La mayoría de las falencias de los modelos de dispersión atmosférica deben ser netamente detectadas y corregidas, para que puedan ser de mayor utilidad en torno a la calificación ambiental de proyectos, y tener una convicción contribuyente al desarrollo sustentable.

7. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

El uso de modelos de dispersión atmosférica requiere que las autoridades y organismos medioambientales establezcan los contaminantes y las tasas de emisión de estos a partir de las cuales su impacto sobre la calidad del aire debe ser evaluado, y no solamente realizar un listado nacional, sino más bien por zona, debido a que Chile presenta diversos contrastes de contaminación. Un ejemplo básico, es una comparación entre la calidad del aire en la zona norte y la zona sur del país. Es necesario considerar una evaluación de su impacto sobre la calidad del aire, utilizando inicialmente un modelo de análisis preliminar, en base a un modelo de dispersión atmosférica simple y gaussiano, en todas las actividades que consideren emisiones de contaminantes o precursores de aquellos que cuenten con una Norma de Calidad de aire, no solamente en nuestro país, sino también en alguno de los países señalados en el Reglamento del SEIA, o al tratarse de un sustancia identificada como peligrosa por la OMS u organizaciones similares. Si luego de la aplicación del modelo en su análisis preliminar, las concentraciones ambientales totales del contaminante en estudio no sobrepasan un porcentaje de los valores correspondientes fijados por la regulación vigente o recomendados internacionalmente, no sería necesario proseguir con el análisis. En caso contrario, se debiera realizar un análisis más minucioso detallado, quizás utilizando herramientas de predicción más sofisticadas, no solamente en base a modelos de dispersión atmosférica, también a modelos de predicciones meteorológicas.

Es necesaria una implementación y mantención de procesos que desarrollen el conocimiento y competencia en analistas y profesionales protagonistas en tomas de decisiones acerca de la modelación de contaminantes atmosféricos y algunos de los modelos disponibles para ser considerados en un Estudio de Impacto Ambiental, que por supuesto, acrediten que son competentes en la materia de modelación.

8. REFERENCIAS

BRASSEUR, G. P., ORLANDO, J. J., TYNDALL G. S., 1999. Modeling in Atmospheric Chemistry and Global Change. Oxford University Press, Oxford.

DECRETO 59. 1998. Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10.

DECRETO 61. 2008. Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos. Ministerio de Salud. República de Chile.

DECRETO 112. 2002. Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Ozono.

DECRETO 113. 2002. Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre.

DECRETO 114. 2002. Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Nitrógeno.

GALLARDO, L. 1997. Pautas Técnicas para la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos y Apoyo Técnico al Departamento de Planes y Normas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

KIELY, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión.

Ley 19300, 1994. Ley de Bases del Medio Ambiente. CONAMA.

MELÓN S.A. 2010. Memoria Anual Melón S.A.

MELÓN S.A. 2011. Informe de Seguimiento, Coprocesamiento en Planta La Calera. Diciembre.

MELÓN S.A. Sistema de Monitoreo Ambiental Melón S.A.

OLIVARES PINO, G. 2001. Dispersión Regional de Azufre Oxidado en Chile Central. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Chile.

PEREZ BRUCE, S. 2007-2012. Plan de Desarrollo Comunal de Hijuelas.

SANTA CRUZ, A. 2000. Difusión de Contaminantes Gaseosos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

SINCA. Estaciones de Monitoreo, Región de Valparaíso

SVERRE PETTERSEN. 1976. Introducción a la Meteorología.

US EPA, 1987. Sensitivity Analysis for Application of the Inhalation Exposure Methodology (IEM) to Studies of Hazardous Waste Management Facilities.

US EPA, 1995. SCREEN3 User's Guide. EPA 454/B-95-004.

US EPA, 1995. User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model. Volume II, Description of Model Algorithms, EPA-454/B5- 003b.

US EPA, 2003a. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred Long Range Transport Model and Other Revisions.

US EPA, 2003b. Support Center for Regulatory Air Models.

TANJI, K. K., 1994. Hydrochemical Modeling, Class Notes, Land, Air and Water Resources, University of California at Davis.

TURNER, D. B., 1969. Workbook of Atmospheric dispersion Estimates. EPA, Research Triangle Park. North Carolina. U.S. EPA.

ZANNETTI, P. 1990. Air Pollution Modeling. Theories, Computational Methods and Available Software, Comp. Mechanics Publications, Southampton Boston.

ANEXOS

ANEXO A: Especificación de Algunos Modelos de Dispersión Atmosférica

Nombre	Bouyant Line Point Source Model , BLP	CALINE 3	CALPUFF	Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms por Instable Situations (CTDMPLUS)
Origen	US EPA	US EPA	US EPA	US EPA
Aplicación	Fuentes puntuales y lineales en Plantas de reducción de aluminio y otras fuentes industriales	Fuentes lineales derivadas del trafico vehicular en calles y carreteras	Fuentes puntuales, área, línea o volumen	Fuentes puntuales
Tipo	Penacho gaussiano	Penacho gaussiano	Puff no estacionario	Penacho gaussiano
Contaminantes	Contaminantes primarios. No maneja depositación ni deposición de contaminantes	Contaminantes primarios. No maneja depositación ni deposición de contaminantes	Contaminantes primarios, sustancias peligrosas, amoniaco y otras contaminantes pasivos.	Contaminantes primarios no reactivos
Escala Geográfica	<50 km	<50 km	50 km a varios cientos de km	<50 km
Escala temporal	1 hora, 1 Año	1 a 24 horas	1 hora a un año	1 hora a un año
Transformaciones Químicas	Considera decaimiento lineal. Tasa de decaimiento debe ser proporcionada por el usuario	No consideradas	Considera parametrizaciones para SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃ y aerosoles orgánicos. Considera deposición seca y húmeda.	No consideradas
Clasificación de Estabilidad	Formulas de Turner (1969)	Formulas de Turner (1969)	Pasquill-Gifford (rural) y McElroy-Pooler (urbana)	Parametrización de la capa límite
Meteorología	Horaria	Horaria	Completa y tridimensional utilizando CALMET	Horaria
Elevación del penacho	Formulas de Shulman and Scire (1980)	No consideradas	Formulas de Shulman and Scire (1980), Briggs (1974, 1975)	Formulas de Briggs (1984)
Terreno	Simple	Simple	Simple y complejo	Complejo
Uso del suelo	Rural	Urbana o rural	Urbana y Rural	Urbana y Rural
Referencia	Schulman y Scire, 1980	Benson, 1979	Scire et al, 2000.	Perry et al, 1989, 1990

Nombre	Emissions and Dispersion Modeling System, EDMS 3.1	Industrial Source Complex Model, ISC3	Offshore and Coastal Dispersion Model (OCD)	IFDM
Origen	US EPA	US EPA	US EPA	VITO Mol, Belgium
Aplicación	Contaminantes asociados a aeropuertos civiles y militares	Fuentes puntuales, área, línea o volumen, asociadas a complejos industriales	Puentes puntuales, línea o área en costeras	Fuentes puntuales
Tipo	Penacho gaussiano	Penacho gaussiano	Penacho Gaussiano	Penacho Gaussiano
Contaminantes	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios y emisiones continuas de contaminantes tóxicos o residuos peligrosos. Considera depositación y depositación seca.	Contaminantes primarios. No maneja depositación ni depositación de contaminantes	Contaminantes primarios.
Escala Geográfica	<50 km	<50 km	<50 km	<50 km
Escala temporal	1 hora a 1 año	1 hora a 1 año	1 hora	1 hora a 1 año
Transformaciones Químicas	No consideradas	Considera decaimiento lineal. Tasa de decaimiento debe ser proporcionada por el usuario	Considera decaimiento lineal. Tasa de decaimiento debe ser proporcionada por el usuario	No disponible. Se asume no están consideradas.
Clasificación de Estabilidad	Pasquill-Gifford	Formulas de Turner , y Pasquill-Gifford	Pasquill-Gifford	Bultynk-Malet
Meteorología	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria
Elevación del penacho	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs
Terreno	Simple	Simple o complejo	Complejo	No disponible. Se asume como simple
Uso del suelo	Urbana o rural	Urbana o rural	No disponible	No disponible. Se asume como rural
Referencia	Benson Paul, 1979; Federal Aviation Administration, 1997.	US EPA, 1995	DiCristofaro, D.C. and Hanna, S. R., 1989	R. Cosemans, J. Kretzschmar and G. Maes, 1992

Nombre	PLUIMPLUS	AUSTAL 86	OML	UK-ADMS
Origen	Staatsvitgeverij, 's Gravenhage, Nederland	TA-LUFT, Germany	National Environmental Research Institute, Denmark	CERC and UK Meteorological Office, United Kingdom
Aplicación	Emisiones de Chimeneas	Emisiones de Chimeneas	Emisiones de Chimeneas	Emisiones de Chimeneas
Tipo	Penacho gaussiano	Penacho gaussiano	Penacho Gaussiano	Penacho Gaussiano
Contaminantes	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios no reactivos
Escala Geográfica	<50 km	<50 km	<50 km	<50 km
Escala temporal	1 hora a 1 año	1 año	1 hora a 1 año	1 hora a 1 año
Transformaciones Químicas	No consideradas	No consideradas	No consideradas	No disponible. Se asume no están consideradas.
Clasificación de Estabilidad	KNMI-system, surface roughness	TA-LUFT classes (4)	Parametrización de la capa límite	Parametrización de la capa límite
Meteorología	Distribución de frecuencias	Distribución de frecuencias	Horaria	Horaria
Elevación del penacho	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Ecuaciones basadas en el flujo de masa y calor
Terreno	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible.
Uso del suelo	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible.
Referencia	Kleine Commissie Modellen, 1976	TA-LUFT, 1986	P. Løfstrøm and H.R. Olesen, 1988	Carruthers et al., 1992

Nombre	HPDM	INPUFF	SCALTURB	CAR
Origen	Sigma Research Corporation, USA	Environmental Protection Agency, USA	Norwegian Institute for Air Research (NILU), Norway	RIVM, TNO (The Netherlands)
Aplicación	Emisiones de Chimeneas	Emisiones de Chimeneas	Emisiones de Chimeneas	Emisiones desde calles y carreteras
Tipo	Penacho gaussiano	Penacho gaussiano tipo puff	Penacho Gaussiano	Relaciones semi empíricas basadas en experiencias en túneles de viento y campañas en terreno
Contaminantes	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios no reactivos	Contaminantes primarios
Escala Geográfica	<50 km	<50 km	<50 km	Decenas de metros.
Escala temporal	1 hora a 1 año	1 hora a 1 año	1 hora a 1 año	1 año
Transformaciones Químicas	No consideradas	No consideradas	No consideradas	NO2
Clasificación de Estabilidad	Parametrización de la capa límite	Pasquill-Gifford	Parametrización de la capa límite	
Meteorología	Horaria	Horaria	Horaria	Anual
Elevación del penacho	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	
Terreno	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible.
Uso del suelo	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible.
Referencia	Hanna and Paine, 1989	Petersen and Lavdas, 1986	Gryning, Holtslag, Irwin and Sivertsen, 1987	Eerens et al, 1993

Nombre	CARSMOG	CAR-FMI	ROADAIR
Origen	RIVM, TNO (The Netherlands)	Finland Meteorological Institute, Finland	Norwegian Institute for Air Research (NILU), Norway
Aplicación	Emisiones desde calles y carreteras en tiempo real	Emisiones desde calles y carreteras	Emisiones desde calles y carreteras
Tipo	Relaciones semi empíricas basadas en experiencias en túneles de viento y campañas en terreno combinadas con mediciones en terreno	Fuentes de línea de tipo gaussiano	Fuentes de línea de tipo gaussiano
Contaminantes	Contaminantes primarios	Contaminantes primarios y secundarios	Contaminantes primarios
Escala Geográfica	Decenas de metros.	<50 km	<50 km
Escala temporal	1 hora	1 hora	1 hora a 1 año
Transformaciones Químicas	NO ₂	NO ₂ , O ₂ , O ₃	NO a NO ₂ por O ₃
Clasificación de Estabilidad		Parametrización de la capa límite	Pasquill-Gifford
Meteorología	Horaria	Horaria	Horaria
Elevación del penacho			Formulas de Briggs
Terreno	No disponible.	No disponible	No disponible
Uso del suelo	No disponible.	No disponible	No disponible
Referencia	den Tonkelaar W.A.M. 1995	Härkönen et al., 1994	Gryning, Holtslag, Irwin and Sivertsen, 1987

ANEXO B: Manual de Operación de SCREEN3

1. INTRODUCCION

1.1 Descripción general de la Guía del Usuario

Será más fácil entender esta Guía del Usuario y el modelo SCREEN si usted ya se encuentra familiarizado con la publicación "Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources" (EPA, 1995a).

Esta introducción deberá responder a la mayoría de sus preguntas generales sobre lo que el modelo SCREEN puede o no hacer y explicar su relación con el documento de procedimientos de filtración (SPD) antes mencionado.

La Sección 2 proporciona varios ejemplos sobre cómo ejecutar el modelo SCREEN y le ayudará al principiante a comenzar a utilizar el programa. El ejemplo de fuente de punto proporciona la descripción más detallada y debe leerse antes de leer los otros ejemplos. Si usted ya se encuentra familiarizado con las computadoras personales y con los procedimientos de filtración, probablemente no tendrá ningún problema si ejecuta SCREEN y experimenta con él. SCREEN funciona interactivamente, y las señales de entrada (prompts) deberán ser auto-explicables.

La Sección 3 proporciona la información sobre antecedentes técnicos como una referencia para aquellos que desean saber cómo SCREEN realiza ciertos cálculos. La discusión de la Sección 3 intenta ser tan breve como sea posible, pero hace referencia a otros documentos con información más detallada.

1.2 Propósito de SCREEN

El modelo SCREEN fue desarrollado para proporcionar un método fácil de usar para obtener estimaciones de concentración de contaminantes basadas en el documento de procedimientos de filtración. Aprovechando la gran disponibilidad de las computadoras personales (PCs), el modelo SCREEN hace los cálculos de filtración accesibles a una gran variedad de usuarios.

1.3 ¿Qué se necesita para usar SCREEN?

SCREEN se ejecuta en una computadora personal (PC) compatible con IBM que tenga por lo menos 256KB de RAM. También se necesita por lo menos una unidad de disco (drive) para disco magnético de 5 1/4 pulgadas y de doble densidad (360KB) o uno de 5 1/4 pulgadas y de alta densidad (1.2MB). El programa se ejecuta con o sin un co-procesador matemático. El tiempo de ejecución se beneficiará grandemente si un co-procesador matemático está presente (a un factor de 5 en tiempo de ejecución aproximadamente), y además se beneficiará del uso de la unidad del disco duro. SCREEN escribirá la fecha y la hora en el archivo de información de salida, siempre y cuando un reloj de tiempo real esté disponible.

1.4 ¿Qué puede hacer SCREEN?

SCREEN se ejecuta interactivamente en una computadora personal, lo que significa que el programa le hace al usuario una serie de preguntas con el fin de obtener los datos de entrada necesarios y para determinar qué opciones utilizar. SCREEN puede realizar todos los cálculos de corto plazo para una sola fuente en del documento de procedimientos de filtrado, incluyendo la estimación de concentraciones del máximo nivel de piso y la distancia a éste (Paso 4 de la Sección 4.2, SPD), incorporando los efectos del flujo de caída por edificios en las concentraciones máximas para las regiones cercanas y lejanas de la estela (Sección 4.5.1), estimando las concentraciones en la zona de recirculación de cavidad (Sección 4.5.1), estimando las concentraciones debido al rompimiento de inversión y fumigación de litoral (Sección 4.5.3), y determinando el ascenso de la pluma para liberaciones por incinerado (Paso 1, Sección 4.2). El modelo puede incorporar los efectos de terreno elevado sencillo en concentraciones máximas (Sección 4.2), y puede calcular las concentraciones promedio de 24 horas ocasionadas por la impactación de la pluma en terreno complejo usando el procedimiento de filtrado de 24 horas del modelo VALLEY (Sección 4.5.2). Las fuentes de área simples pueden modelarse con SCREEN usando un método de integración numérica. El modelo SCREEN también puede usarse para modelar los efectos de fuentes volumétricas sencillas usando un procedimiento de fuente de punto virtual. Los algoritmos de fuente volumétrica y de área se describen en el Volúmen II de la Guía del Usuario del modelo ISC (EPA, 1995b). El modelo SCREEN también puede calcular la concentración máxima a cualquier número de distancias especificadas por el usuario en un terreno simple elevado o plano (Sección 4.3), incluyendo distancias de hasta 100 km para transporte de largo alcance (Sección 4.5.6).

1.5 ¿Qué no puede hacer SCREEN?

SCREEN no puede determinar explícitamente impactos máximos de múltiples fuentes, excepto en el proceso para utilizar múltiples chimeneas cercanas por medio de la unión de las emisiones en una sola chimenea representativa (Sección 2.2). El usuario puede consultar los modelos MPTEP (Pierce, et al, 1980) o el ISC (EPA, 1995b) que están en el BBS de SCRAM para modelar impactos a corto plazo para múltiples fuentes. Con la excepción de las estimaciones de 24 horas para impactos en terreno complejo, los resultados de SCREEN se calculan en concentraciones máximas en 1 hora. Para manejar promedios de período más largos, el documento de procedimientos de filtrado contiene los factores de ajuste recomendados para calcular concentraciones hasta de 24 horas a partir del valor máximo en 1 hora (Sección 4.2, Paso 5). Para promedios estacionales o anuales, la Sección 4.4 del documento de procedimientos de filtrado contiene un procedimiento que utiliza cálculos manuales, pero se recomienda el uso del ISCLT u otro modelo de largo plazo en el BBS de SCRAM.

.6 ¿Cómo se comparan los resultados de SCREEN con los cálculos manuales del documento?

El modelo SCREEN se basa en las mismas suposiciones de modelaje que se incorporan en los procedimientos de filtrado y monogramas, y para muchas fuentes los resultados serán muy similares, con concentraciones máximas estimadas que difieren en aproximadamente 5 por ciento en un rango de características de fuente. Sin embargo, hay algunas diferencias de las cuales el usuario debe estar enterado. Para algunas fuentes, particularmente fuentes altas con una flotación más alta, las diferencias en las concentraciones calculadas serán más grandes, con los cálculos manuales los resultados exceden al modelo de SCREEN en hasta un 25 por ciento. Estas diferencias se describen detalladamente más adelante.

El modelo de SCREEN puede proporcionar concentraciones calculadas para distancias de menos de 100 metros (y hasta 1 metro como en otros modelos regulatorios), mientras que los monogramas que se usan en los cálculos manuales se limitan a distancias mayores o iguales a 100 metros. El modelo SCREEN tampoco se limita a alturas de pluma de 300 metros, mientras que los monogramas sí lo hacen. En ambos casos, tenga cautela al interpretar los resultados que se encuentran fuera del rango de los monogramas.

Además, SCREEN examina un amplio rango de condiciones meteorológicas, incluyendo todas las clases de estabilidad y velocidades del viento (ver Sección 3) para encontrar impactos máximos, mientras que en los cálculos manuales, con el fin de mantenerlos manejables, solo se examina un subconjunto de las condiciones meteorológicas (clases de estabilidad A, C y E o F). Son examinadas aquellas condiciones meteorológicas que contribuyen a la concentración máxima. Se requiere el uso de un conjunto completo de condiciones meteorológicas en SCREEN debido a que las concentraciones máximas también se dan como una función de la distancia, y porque la estabilidad A, C y E o F podría no controlar en fuentes con flujo de caída por edificio (no incluidas en los cálculos manuales). SCREEN calcula explícitamente los efectos de múltiples reflexiones de la pluma fuera de la inversión elevada y fuera del piso cuando se calculan concentraciones bajo condiciones de mezclado limitadas. Para compensar estas reflexiones, los cálculos manuales en procedimiento de filtrado (Procedimiento (a) del Paso 4 en la Sección 4.2, SPD), incrementan las concentraciones máximas calculadas para una estabilidad A en un factor que va de 1.0 a

2.0. El factor tiene la intención de ser un cálculo conservador del incremento debido a la mezcla limitada, y puede ser ligeramente más alta (5 ó 10 por ciento) que el incremento obtenido de SCREEN usando reflexiones múltiples, dependiendo de la fuente. Así mismo, SCREEN trata el caso de velocidad del viento cercana a neutral/alta [Procedimiento (b)] examinando un rango de velocidades del viento para clase de estabilidad C y seleccionando el máximo. En contraste, los cálculos manuales se basan en la concentración máxima estimada usando clase de estabilidad C con una velocidad del viento crítica calculada y

una velocidad de un viento de 10 metros a 10 m/s. Esta diferencia debe resultar en diferencias en las concentraciones máximas de menos de 5 por ciento para aquellas fuentes donde está controlando la velocidad cercana del viento neutral o alta.

Los resultados del modelo SCREEN también incluyen los efectos de la dispersión por flotación inducida (BID, por sus siglas en inglés), los cuales no se hacen en los cálculos manuales (excepto para fumigación). La inclusión de BID en SCREEN podría incrementar o decrementar las concentraciones calculadas, dependiendo de la fuente y la distancia. Para fuentes con altura de plumas menores al límite de 300 metros de los cálculos manuales, el efecto de BID en las concentraciones máximas calculadas será menor a ± 10 por ciento. Para fuentes con flotación relativamente altas, la inclusión de BID podría decrementar la concentración máxima calculada en hasta un 25 por ciento.

1.7 ¿Qué cambios se han incorporado en SCREEN?

El modelo SCREEN3 (fechado 95250) incluye una corrección significativa de la versión anterior de SCREEN (fechada 92245). El algoritmo de segmento de línea finita para modelación de fuentes de área ha sido reemplazado por un algoritmo de integración numérica basado en el modelo ISCST. El nuevo algoritmo permite al usuario modelar fuentes de área rectangular con una relación de longitud/anchura de hasta 10:1. El nuevo algoritmo también proporciona estimaciones de concentración dentro de la misma fuente de área.

1.8 ¿Qué constituye las reguladoras predefinidas en SCREEN?

Las reguladoras predefinidas consisten en: 1) Introducir las características de las fuentes de entrada apropiadas, 2) seleccionar las opciones reguladoras apropiadas (ver figura 1), y 3) luego utilizar las SCREEN predefinidas recomendadas. En la Sección 2 de este documento y a lo largo de la Sección 4 del documento de Procedimientos de Investigación (ver Referencias) puede encontrarse un análisis de las entradas SCREEN, opciones reguladoras, y predefinidas. Las reguladoras predefinidas no incluyen el uso de ninguna de las tres nuevas opciones no reguladoras mencionadas en la Sección 1.8.

2. TUTELA

2.1 ¿Qué se necesita?

Una computadora personal compatible con IBM con al menos 256KB de RAM y una unidad de disco para disco magnético de 5¼ pulgadas de doble o alta.

Un disco magnético con el programa SCREEN (o los archivos obtenidos del BBS de SCRAM).

Una unidad de disco duro o flexible (con al menos 1 MB de espacio disponible).

Co-procesador matemático (optativo, pero recomendable).

Un disco magnético en blanco para hacer copias de respaldo del programa.

2.2 Instalación en la computadora personal (PC)

Por medio del comando DISKCOPY del sistema operativo DOS u otra rutina similar, haga una copia de respaldo del programa SCREEN. Guarde la copia original del programa SCREEN en un lugar seguro. El comando DISKCOPY también formatea el disco en blanco de ser necesario.

Las siguientes instrucciones para la instalación suponen que el usuario tiene un sistema con una unidad de disco duro y el programa de descompresión "pkunzip" residente en la unidad de disco duro. El programa "pkunzip" puede obtenerse del BBS de SCRAM seleccionando la opción "archivers/dearchivers" bajo utilerías para el sistema en el menú principal.

Inserte el disco con SCREEN en la unidad de disco A: y proporcione el siguiente comando en la señal de entrada del sistema operativo DOS desde la unidad de disco C: (ya sea desde la raíz o un subdirectorio):

```
PKUNZIP A:SCREEN3
```

Este comando descomprimirá los seis archivos del disco que contiene SCREEN y los colocará en el disco duro. El disco duro ahora contendrá el archivo ejecutable de SCREEN, llamado SCREEN3.EXE, así como los archivos con el código fuente en FORTRAN SCREEN3.FOR y MAIN.INC, un ejemplo del archivo de datos de entrada EXAMPLE.DAT, su correspondiente archivo de información de salida EXAMPLE.OUT, y el documento de la Guía del Usuario de SCREEN3 (en formato WordPerfect 5.1), SCREEN3.WPF.

2.3 Ejecución del modelo

El modelo SCREEN se escribió como un programa interactivo para la computadora personal, como se describió anteriormente. Por lo tanto, SCREEN se ejecuta normalmente escribiendo SCREEN desde una unidad de disco y directorio que contenga el archivo

SCREEN3.EXE, y respondiendo a las señales de entrada proporcionadas por el programa. Sin embargo, se proporciona un mecanismo para aceptar el hecho de que para algunas aplicaciones de SCREEN el usuario podría desear ejecutar el programa para la misma fuente y solo hacer uno o unos cuantos cambios en los parámetros de entrada. Este mecanismo se beneficia de que el sistema operativo DOS en las computadoras personales permite la redirección de datos de entrada, que son normalmente proporcionados a través del teclado, para que estos datos se puedan leer desde un archivo. Ejemplo, para ejecutar el problema de ejemplo que se incluye en el disco el usuario escribiría:

```
SCREEN3 <EXAMPLE.DAT
```

en la señal de entrada. El modelo SCREEN entonces lee para cada señal de entrada las respuestas que se encuentran en el archivo EXAMPLE.DAT, en lugar de hacerlo desde el teclado. Los resultados de esta ejecución se almacenan en un archivo llamado SCREEN.OUT, el cual puede luego compararse con el archivo EXAMPLE.OUT que se incluye en el disco con el programa. El archivo que contiene los datos de entrada redireccionados puede designarse con cualquier nombre válido de ruta en el sistema operativo DOS. Para facilitar la creación del archivo de datos de entrada para el modelo SCREEN, SCREEN se ha programado para que escriba todos los datos de entrada en un archivo llamado SCREEN.DAT durante su ejecución. Por lo tanto, si al terminar una ejecución el usuario escribe

```
SCREEN3 <SCREEN.DAT
```

la última ejecución se duplicará exactamente. Alternativamente, el archivo SCREEN.DAT puede editarse como un archivo ASCII usando un editor de textos o de líneas y cambiar algunos parámetros antes de volver a ejecutar el modelo. Debido a que el archivo SCREEN.DAT se sobre-escribe cada vez que ejecuta el modelo, se aconseja grabar los datos de entrada modificados en un archivo con otro nombre.

Deben tomarse algunas precauciones con respecto al uso de los datos de entrada redirigidos en SCREEN. Debido a la manera en que SCREEN maneja algunos errores de entrada, el archivo SCREEN.DAT podría contener algunos de los errores de los datos de entrada originales. Aunque SCREEN.DAT debe reproducir los resultados correctos, sería más fácil trabajar con el archivo si los datos de entrada originales no contienen errores. Aún más importante, debido a que los datos de entrada solicitados por SCREEN dependen de las opciones seleccionadas, no es aconsejable editar el archivo SCREEN.DAT y tratar de cambiar las opciones seleccionadas. Un usuario experto podría ser capaz de hacerlo, especialmente con la ayuda de las tablas de flujo que se proporcionan más adelante en esta sección, pero sería más fácil ejecutar SCREEN de nuevo con las nuevas opciones.

2.4 Ejemplo de fuente de punto

Cuando se ejecuta SCREEN para una fuente de punto o para liberaciones de incineración y fuentes de área que se discuten a continuación, se le pide al usuario que proporcione un título de una línea (de hasta 79 caracteres) que aparecerá en el archivo de información de salida. Luego se le pide al usuario que identifique el tipo de fuente, y deberá escribir 'P' o 'p' para una fuente de punto (el modelo acepta letras mayúsculas o minúsculas y repetirá la solicitud hasta que se le dé una respuesta válida).

Para una fuente de punto, se le pide al usuario que proporcione los siguientes datos de entrada:

Datos de entrada para fuente de punto Tasa (o cantidad)
de emisión (g/s) Altura de la chimenea (m)
Diámetro interior de la chimenea (m)
Velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s)
o tasa de flujo (ACFM o m³/s)
Temperatura del gas de la chimenea (K)
Temperatura ambiente (K) (por predeterminación 203
K si se desconoce)
Altura del receptor sobre el suelo (puede usarse
para definir receptores de asta) (m)
Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

El modelo SCREEN usa formato libre para leer los datos de entrada numéricos con excepción de la opción de velocidad de salida y/o tasa de flujo. La elección predeterminada para este dato de entrada es la velocidad de salida del gas de la chimenea, la cual SCREEN lee como formato libre. Sin embargo, si el usuario antecede el dato de entrada con los caracteres VF= en las columnas 1-3, entonces SCREEN interpreta el dato de entrada como una tasa de flujo en pies cúbicos por minuto (ACFM, por sus siglas en inglés). Alternativamente, si el usuario escribe los caracteres VM= en las columnas 1-3 entonces SCREEN interpreta el dato de entrada como tasa de flujo en m³/s.

El usuario puede escribir caracteres en mayúsculas o minúsculas para VF y VM. Los valores de tasa de flujo se convierten a velocidad de salida en m/s para usarse en las ecuaciones de ascenso de la pluma, en base al diámetro la chimenea.

SCREEN permite la selección de coeficientes de dispersión urbana o rural. La opción de dispersión urbana se selecciona escribiendo 'U' (en minúscula o mayúscula) en la columna 1, así mismo, la opción de dispersión urbana se selecciona escribiendo 'R' (minúscula o mayúscula) en la columna 1. Con el fin de mantener la compatibilidad con la versión anterior del modelo, SCREEN también permite que se escriba '1' para la selección urbana, ó '2' para la selección rural. La determinación de la aplicabilidad de la dispersión urbana o rural se basa en el uso de la tierra o densidad de población. Para la determinación del uso de la tierra, (1) circunscriba un círculo de 3 km de radio, A₀, con centro en la fuente usando el esquema meteorológico de

determinación de tipo de uso de la tierra y (2) si los tipos de uso de la tierra I1, I2, C1, R2 y R3, corresponden al 50 por ciento o más de A_0 , seleccione la opción urbana, de lo contrario seleccione la opción rural. Usando el criterio de densidad de población (1) calcule el promedio de densidad de población, "p", por kilómetro cuadrado con A_0 como se define anteriormente y (2) si "p" es mayor que 750 personas/km², use la opción urbana, de lo contrario seleccione la opción rural. De los dos métodos, el del uso de la tierra se considera más definitivo. Esta referencia proviene de la Sección 8.2.8 de la "Guía sobre modelos de calidad del aire" (Corregida) y el Suplemento A (EPA, 1987).

La Ilustración 1 presenta el orden de las opciones dentro del modelo SCREEN para fuentes de punto y se anotan con las secciones correspondientes del documento de procedimientos de filtrado. Con el fin de obtener resultados de SCREEN que correspondan a los procedimientos del Paso 4 de la Sección 4.2, el usuario debe seleccionar la opción de meteorología completa, la opción de arreglo de distancias automática, y si se aplica a la fuente, la opción de terreno elevado simple. La opción de terreno elevado simple se usa si el terreno se extiende por encima de la elevación de la base de la chimenea pero en menor que la altura de la chimenea física. Estas, así como las otras opciones en la Ilustración 1, se explican con más detalle más adelante. Un receptor de asta se define como cualquier receptor que está localizado sobre el nivel local de piso, e.g., para representar el techo o balcón de un edificio.

2.4.1 Opción Caída de Flujo de Edificio

Hay dos opciones de caída de flujo disponibles con este modelo, una opción reguladora y una opción no reguladora. Ambas se analizan a continuación.

2.4.1.1 Opción Reguladora Caída de Flujo de Edificio

Después de proporcionar los datos de entrada básicos de características de la fuente, SCREEN primero preguntará si se debe considerar la caída de flujo por edificio, y de ser así, preguntará por la altura del edificio, dimensión horizontal mínima y dimensión horizontal máxima en metros. El procedimiento de filtración de caída de flujo supone que el edificio puede aproximarse a una caja rectangular sencilla. Los efectos de estela se incluyen en cualquier cálculo que se haga, usando el arreglo de distancias automático o las opciones de distancias discretas (se describe más adelante). Los cálculos de cavidad se hacen para dos orientaciones de edificio - primero con la dimensión horizontal mínima del edificio en dirección del viento, y luego con la dimensión horizontal máxima en dirección del viento. Los cálculos de cavidad se resumen al final de los cálculos dependientes de la distancia. Diríjase a la Sección 3.6 para más detalles sobre cavidad de caída de flujo por edificio y el procedimiento de filtración de estela.

2.4.1.2 Opción No Reguladora de Caída de Flujo de Edificio

La opción Schulman-Scire Caída de Flujo de Edificio /Cavidad puede ser seleccionada junto a otras dos opciones no reguladoras introduciendo la bandera adecuada, SS, en la línea que contiene la entrada del tipo de fuente. El programa preguntará luego por la altura del edificio, dimensión mínima horizontal, y dimensión máxima horizontal en metros tal como lo hace con la opción cavidad reguladora. No obstante, únicamente para esta opción, el programa preguntará por la posición de la fuente en el edificio con respecto a la orientación de los dos edificios mencionados en 2.4.1.1. La respuesta deberá hacerse en forma de proporción de la distancia de chimenea desde la línea central del edificio dibujada perpendicularmente al viento sobre la dimensión horizontal del lado del edificio paralelo al viento. El programa mostrará una figura de cómo calcular la proporción correcta para una orientación determinada.

2.4.2 Opción de terreno complejo

La opción de SCREEN de terreno complejo permite al usuario calcular impactos para casos donde las elevaciones de terreno exceden la altura de la chimenea. Si el usuario selecciona esta opción, SCREEN calcula e imprime una altura final de pluma estable y la distancia al ascenso final para la técnica de filtrado del modelo de 24 horas de VALLEY. Esta técnica supone una estabilidad de clase F (E para urbana) y una velocidad del viento a la altura de la chimenea de 2.5 m/s. Para terreno complejo, se espera que ocurran impactos máximos de la pluma en el terreno elevado bajo condiciones estables. Por lo tanto, se le indica al usuario que escriba las distancias mínimas y las alturas del terreno para los cuales la impactación es probable, dada la altura calculada de la pluma, y tomando en cuenta que el terreno complejo está más cercano que la distancia del ascenso final. Si la pluma está a una altura igual o menor que la altura del terreno para la distancia escrita, entonces SCREEN hará cálculos de concentración de 24 horas usando la técnica de filtración de VALLEY. Si el terreno está por encima de la altura de la chimenea pero debajo de la altura de la línea central de la pluma para la distancia escrita, entonces SCREEN hará un cálculo de 24 horas usado en VALLEY (suponiendo E o F y 2.5 m/s), y también estimará la concentración máxima a través de un amplio rango de condiciones meteorológicas usando procedimientos de terreno simple con el terreno "truncado" a la altura física de la chimenea. El más alto de los dos cálculos se selecciona como control para aquella distancia y altura de terreno (se imprimen ambos cálculos para que puedan compararse). El cálculo de terreno simple se ajusta para representar un promedio de 24 horas multiplicándolo por un factor de 0.4, mientras que el cálculo de VALLEY de 24 horas incorpora el factor 0.25 que se usa en el modelo de VALLEY. Los cálculos continúan para cada combinación de altura y distancia del terreno hasta que se proporcione una altura de cero. El usuario tendrá entonces la opción de continuar con cálculos de terreno simple o salir del programa. Debe considerarse que SCREEN no considera los efectos de la caída de flujo por edificio en VALLEY ni en el componente de terreno

simple del procedimiento de filtración de terreno complejo, aún si se selecciona la opción de caída de flujo por edificio. SCREEN también usa una altura de receptor por encima del suelo de 0.0 m (i.e. no son receptores de asta) en la opción de terreno complejo, aún si se ha escrito un valor diferente de cero. La altura original del receptor se graba para cálculos posteriores. Diríjase a la Sección 3 para más detalles sobre el procedimiento de filtración en terreno complejo.

2.4.3 Opción de terreno simple elevado o plano

En SCREEN se le da al usuario la opción de modelar un terreno elevado simple, donde las alturas del terreno exceden la base de la chimenea pero se mantienen por debajo de la altura de ésta, o un terreno simple plano, donde se supone que las alturas del terreno no exceden a la elevación de la base de la chimenea. Si el usuario decide no usar la opción de filtrado en terreno simple con el terreno por encima de la base de la chimenea, entonces se asume que el terreno es plano y se le asigna un valor de altura de cero. Si se usa la opción de terreno elevado, SCREEN le pide al usuario que proporcione una altura por encima de la base de la chimenea. Si se proporcionan alturas de terreno por encima de la altura física de la chimenea, entonces se truncan a la distancia de la altura física de la chimenea.

El procedimiento de filtración de terreno simple elevado supone que la elevación de la pluma sobre el nivel del mar no se afecta por el terreno elevado. Las estimaciones de la concentración se hacen al reducir la altura calculada de la pluma por la altura del terreno dada por el usuario por encima de la base de la chimenea. Ni a la altura de la pluma, ni a la altura del terreno se les permite ir por debajo de cero. El usuario puede modelar terreno simple elevado usando una o ambas opciones descritas más adelante, i.e., el arreglo de distancias automático o la opción de distancia discreta. Cuando se completan los cálculos de terreno simple elevado para cada opción de distancia, el usuario tiene la opción de continuar los cálculos de terreno simple para esa opción con una nueva altura de terreno. (Para terreno plano el usuario no tendrá la opción de continuar con una nueva altura de terreno). Por precaución y para desanimar al usuario a que modele alturas de terreno que disminuyen con la distancia, la nueva altura del terreno para las distancias automáticas no puede ser menor que la altura previa en esa ejecución. Aún así, al usuario se le da considerable flexibilidad de modelar los efectos de terreno elevado por debajo de la altura de la chimenea en una gran variedad de situaciones.

Para terreno elevado relativamente uniforme o como un cálculo conservador de los efectos del terreno, el usuario debe proporcionar la máxima elevación del terreno (por sobre la base de la chimenea) dentro del alcance de 50 km de la fuente, y ejercer la opción de arreglo de distancia automático hasta 50 km. Para características en un terreno aislado se puede hacer un cálculo aparte usando la opción de distancia discreta para la distancia a la característica del terreno con la entrada de altura del terreno como la altura máxima de la característica

sobre la base de la chimenea. Donde las alturas del terreno varían con la distancia a la fuente, entonces el modelo SCREEN puede ejecutar en cada uno de los anillos concéntricos usando datos de las distancias mínimas y máximas de la opción de distancias automáticas para definir cada anillo y usando la elevación máxima del terreno por sobre la base de la chimenea dentro de cada anillo para datos de entrada de altura del terreno. Como se mencionó antes en SCREEN, a las alturas del terreno no se les permite que se decrementsen con la distancia. Si el terreno disminuye con la distancia (en todas direcciones) puede justificarse para una fuente en particular, luego los anillos de distancia tendrían que ser modelados usando ejecuciones separadas de SCREEN y los resultados combinados. La concentración máxima total sería entonces el valor de control. Los tamaños óptimos de los anillos dependerán de como las alturas de terreno varían con la distancia, pero como primer intento se sugiere que los tamaños de los anillos sean de cerca de 5 km (i.e., 0-5 km, 5-10 km, etc.) . La aplicación de SCREEN para evaluar los efectos de terreno elevado debe hacerse en consulta con la autoridad correspondiente.

2.4.4 Elección de meteorología

Para filtrado de terreno simple elevado o plano, el usuario tendrá la opción de seleccionar de entre tres clases de meteorología: (1) meteorología completa (todas las clases de estabilidad y velocidades del viento); (2) especificación de una sola clase de estabilidad y (3) especificación de una sola clase de estabilidad y velocidad del viento. Por lo general, se debe seleccionar la opción de meteorología completa. Las otras dos opciones originalmente se incluyeron para propósitos de prueba solamente, pero pueden ser útiles cuando condiciones meteorológicas en particular sean de importancia. Diríjase a la Sección 3 para más detalles en la determinación de peores casos de condiciones meteorológicas.

2.4.5 Opción de arreglo de distancias automática

La opción de arreglo de distancias automática de SCREEN le permite al usuario usar un arreglo de 50 distancias preseleccionadas que van desde 100 m a 50 km. Se usan incrementos de 100 m hasta 3,000 m, con incrementos de 500 m desde los 3,000 m hasta los 10 km, incrementos de 5 km desde los 10 km hasta los 30 km e incrementos de 10 km hasta los 50 km. Cuando se usa el arreglo de distancias automático, SCREEN le pregunta al usuario las distancias mínima y máxima, las cuales deben escribirse en formato libre, i.e., separados por una coma o espacio. SCREEN luego calcula las concentraciones máximas en un rango de condiciones meteorológicas para la distancia mínima dada (mayor o igual a 1 metro), y luego para cada distancia en el arreglo mayor que el mínimo y menor o igual que el máximo. Por tanto, el usuario puede proporcionar la distancia mínima para el lugar límite como la distancia mínima para los cálculos y obtener una estimación de la concentración en el lugar límite y más allá, mientras que ignora las distancias menores al lugar límite.

Si se usa el arreglo de distancias automático, entonces el modelo SCREEN utiliza una rutina iterativa para determinar el valor máximo y su correspondiente distancia al metro más cercano. Si las distancias mínimas y máximas dadas no son fieles a la concentración máxima, entonces el valor máximo calculado por SCREEN podría no ser el verdadero valor máximo. Por lo tanto, se recomienda que la distancia máxima se deje inicialmente lo suficientemente grande para asegurarse de que la concentración máxima se encuentre. Estas distancias dependerán de la fuente, y podría ser necesario algo de "intento y error", no obstante, el usuario puede proporcionar una distancia de 50,000 m para examinar todo el arreglo. La rutina iterativa se detiene después de 50 iteraciones e imprime un mensaje si el valor máximo no se encontró. También, debido a que puede haber varios valores máximos locales en la distribución de concentración asociada a cada velocidad del viento, es posible que SCREEN no identifique el valor máximo total en sus iteraciones. No es probable que esto ocurra con frecuencia, pero será más probable para clases de estabilidad C y D debido al mayor número de velocidades del viento examinadas.

2.4.6 Opción de distancia discreta

La opción de distancia discreta de SCREEN permite al usuario proporcionar sus distancias específicas. Cualquier número de distancias (1 metro) puede ser proporcionada por el usuario y se calculará la concentración máxima para cada distancia. El usuario siempre tendrá esta opción aunque la opción de arreglo de distancias automática se esté usando. La opción se termina cuando se proporciona una distancia de cero. SCREEN acepta distancias de hasta 100 km para estimaciones de transporte de largo alcance con la opción de distancias discretas. Sin embargo, para distancias mayores a los 50 km, SCREEN deja la velocidad mínima del viento de 10 metros en 2 m/s para evitar tiempos de transporte irreales.

2.4.7 Opción de fumigación

Una vez que terminan los cálculos dependientes de la distancia, SCREEN le da al usuario la opción de calcular concentraciones máximas y las distancias al valor máximo asociadas con fumigación por rompimiento de inversión, y fumigación de litoral. La opción para cálculos de fumigación se aplica solamente en lugares rurales tierra adentro con alturas de chimenea mayores o iguales a 10 metros (a al menos 3,000 m de la costa de un gran cuerpo de agua). El algoritmo de fumigación también ignora cualquier efecto potencial del terreno elevado.

Una vez que han terminado todos los cálculos, SCREEN resume las concentraciones máximas para cada uno de los procedimientos considerados. Antes de detener la ejecución, ya sea después de terminar los cálculos de terreno complejo o después de los cálculos de terreno simple, el usuario tiene la opción de imprimir una copia de los resultados. Aunque no se haga una impresión, los resultados de la sesión, incluyendo todos los datos de entrada y las estimaciones de concentración se almacenan en un archivo llamado SCREEN.OUT. El modelo abre este archivo

cada vez que se ejecuta el modelo. Si un archivo llamado SCREEN.OUT ya existe, entonces se sobre escribe en su contenido y éste se pierde. Por lo tanto, si el usuario desea grabar los resultados de una ejecución en particular, el usuario debe cambiar el nombre del archivo de información de salida usando el comando RENAME del sistema operativo DOS, e.g., escriba 'REN SCREEN.OUT SAMPLE1.OUT', o imprima el archivo usando la opción al final del programa. Si SCREEN.OUT se imprime después usando el comando PRINT del sistema operativo DOS, los controles para nuevas líneas en FORTRAN no tendrán efecto. (Se incluyen instrucciones en la Sección 4 para hacer modificaciones sencillas en el código de SCREEN que le permitan al usuario especificar el nombre del archivo de información de salida para cada ejecución.)

La Ilustración 2 muestra un ejemplo de uso de terreno complejo solamente. La Ilustración 3 muestra un ejemplo para una fuente de punto urbana la cual usa la opción de caída de flujo por edificio. En la columna DWASH de la información de salida, 'NO' indica que no se incluye la caída de flujo, 'HS' significa que la caída de flujo Huber-Snyder se incluye, 'SS' significa que se incluye la caída de flujo de Schulman-Scire y 'NA' significa que la caída de flujo no es aplicable debido a que la distancia viento abajo es menor a $3L_p$. Un espacio en blanco en la columna DWASH significa que no se hicieron cálculos para esa distancia porque la concentración era demasiado pequeña.

2.5 Ejemplo de liberación por incinerado

Si se responde 'F' o 'f' a la pregunta sobre tipo de fuente, el usuario selecciona la opción de liberación por incinerado. Esta opción es similar a la fuente de punto descrita anteriormente a excepción de los datos de entrada necesarios para calcular el ascenso de la pluma. Los datos de entrada para liberación por incineración son como sigue:

<u>Datos de entrada para liberación por incineración</u>	Tasa de emisión (g/s)
Altura de la chimenea de incineración (m)	Tasa de liberación total de calor (cal/s)
Altura del receptor sobre el nivel de piso (m)	Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

SCREEN calcula el ascenso de la pluma para incineraciones en base a un parámetro de flujo por flotación inducida. Se asume una temperatura ambiente de 293 K en este cálculo y por lo tanto ésta no se proporciona por el usuario. Se supone que 55 por ciento del calor total se pierde debido a la radiación. El ascenso de la pluma se calcula desde la cresta de la flama, suponiendo que la flama está inclinada 45 grados con respecto a la vertical. SCREEN calcula e imprime la altura efectiva de liberación para la incineración. SCREEN proporciona las mismas opciones para incineración como se describen anteriormente para fuentes de punto, incluyendo la caída de flujo por edificio, terreno complejo y/o simple, fumigación y las distancias automatizadas y/o discretas. El orden de estas opciones y el de las señales de

entrada para el usuario es el mismo que se describió en el ejemplo de fuente de punto.

Aunque la caída de flujo por edificio es incluida como una opción en la liberación por incineración, debe tomarse en cuenta que SCREEN supone una velocidad efectiva de salida del gas de la chimenea (v_g) de 20 m/s y una temperatura efectiva de salida del gas de la chimenea (T_g) de 1,273 K y calcula un diámetro efectivo de la chimenea en base a la tasa de liberación de calor. Estos parámetros efectivos de la chimenea son un tanto arbitrarios, pero la estimación resultante de flujo por flotación se espera que proporcione una estimación final razonable de ascenso de la pluma para incineraciones. Sin embargo, ya que las estimaciones de caída de flujo por edificio dependen de los cálculos del ascenso de la pluma por momento transicional y por flotación inducida, la selección de los parámetros efectivos de la chimenea pueden influenciar las estimaciones. Por lo tanto, las estimaciones de caída de flujo por edificio deben usarse con mucha precaución para liberaciones por incineración. Si se pueden determinar parámetros de chimenea más realistas, entonces puede hacerse la estimación con la opción de SCREEN de fuente de punto. Si así se hace, debe tenerse cuidado en considerar la altura vertical de la flama al especificar la altura de la liberación (ver Sección 3). La Ilustración 5 muestra un ejemplo de liberación por incineración.

2.6 Ejemplo de fuente de área

La tercera opción de fuente en SCREEN es para fuentes de área, la cual se selecciona escribiendo 'A' o 'a' para el tipo de fuente. El algoritmo de fuente de área en SCREEN se basa en un enfoque de integración numérica, y permite que las fuentes de área se aproximen a un área rectangular. Los datos de entrada solicitados para fuentes de área son como sigue:

Datos de entrada para fuente de área Tasa (o cantidad) de
emisión [$g/(s \cdot m^2)$] Altura de la fuente de liberación (m)
Longitud del lado más largo del área rectangular (m)
Longitud del lado más corto del área rectangular (m)
Altura del receptor sobre el suelo (m) Opción urbana/rural (U =
urbana, R = rural) Opción de búsqueda de dirección del viento (si
no, especificar ángulo deseado)

Nótese que la tasa de emisión para fuentes de área se proporciona como una tasa de emisión por unidad de área en unidades de $g/(s \cdot m^2)$. Estas unidades son consistentes con el modelo ISCST.

Debido a que la concentración a una distancia particular viento abajo desde un área rectangular depende de la orientación del área relativa a la dirección del viento, el modelo SCREEN le proporciona al usuario dos opciones para tratar con direcciones del viento. La primera opción, la cual debe usarse para la

mayoría de las aplicaciones de SCREEN y que son los valores predeterminados regulatorios, es para que el modelo busque a través de un rango de direcciones del viento para encontrar las concentraciones máximas. El rango de direcciones que se usa en la búsqueda se determina de un grupo de tablas de consulta en base

al coeficiente de aspecto de la fuente de área, la categoría de estabilidad y la distancia viento abajo. El modelo SCREEN también le da al usuario una opción para especificar la orientación de la dirección del viento relativa al eje más largo del área rectangular. La segunda opción puede usarse para estimar la concentración en la ubicación de un receptor en particular relativa al área. La tabla de resultados para fuentes de área incluye la dirección del viento asociada con la máxima concentración a cada distancia.

El usuario tiene las mismas opciones para manejar distancias y las mismas opciones de meteorología como se describieron anteriormente para fuentes de punto, pero para fuentes de área no se hacen cálculos de terreno complejo, terreno elevado simple, caída de flujo por edificio o fumigación. Las distancias se miden desde el centro del área rectangular. Debido a que el algoritmo

de integración numérica puede calcular concentraciones dentro de la fuente de área, el usuario puede proporcionar cualquier valor como distancia mínima. La Ilustración 7 muestra un ejemplo de SCREEN para fuente de área, usando las opciones de distancias automatizadas o discretas.

2.7 Ejemplo de fuente volumétrica

La cuarta opción para el tipo de fuente en SCREEN es para fuentes volumétricas, la cual se selecciona escribiendo 'V' o 'v' para el tipo de fuente. El algoritmo de fuente volumétrica se basa en un enfoque de fuente de punto virtual y se puede usar para fuentes no flotantes cuyas emisiones ocupan un volumen inicial. Los datos de entrada solicitados para fuentes volumétricas son como sigue:

Datos de entrada para fuente volumétrica

Tasa (o cantidad) de emisión (g/s) Altura
de la fuente de liberación (m) Dimensión
lateral inicial del volumen (m) Dimensión
vertical inicial del volumen (m) Altura del
receptor sobre el suelo (m) Opción
urbana/rural (U = urbana, R = rural)

El usuario debe determinar las dimensiones iniciales de la fuente antes de ejercitar la fuente volumétrica de SCREEN. La Tabla 1 proporciona una guía para determinar estos datos de entrada. Debido a que el algoritmo de fuente volumétrica no puede calcular concentraciones dentro de la fuente volumétrica, el modelo dará una concentración de cero para distancias de menos de 2.15) y_0 . (medidos desde el centro del volumen). La Ilustración 9 muestra un ejemplo de SCREEN para una fuente volumétrica.

TABLA 1.
RESUMEN DE PROCEDIMIENTOS SUGERIDOS PARA ESTIMAR LAS DIMENSIONES INICIALES LATERALES (D_{y0}) Y LAS
DIMENSIONES INICIALES VERTICALES (D_{z0}) PARA FUENTES VOLUMÉTRICAS

Descripción de la Fuente	Dimensión Inicial
(a) Dimensiones Iniciales Laterales (D_{y0}) Fuente Volumétrica	
Sencilla	D_{y0} = longitud del lado dividido entre 4.3
(b) Dimensiones Iniciales Verticales (D_{z0})	
Fuente con Base Superficial ($h_e = 0$)	D_{z0} = dimensión vertical de la fuente dividida entre 2.15
Fuente Elevada ($h_e > 0$) sobre o adyacente a un Edificio	D_{z0} = altura de edificio dividida entre 2.15
Fuente Elevada ($h_e > 0$) no sobre ni adyacente a un edificio	D_{z0} = dimensión vertical de fuente dividida entre 4.3

2.8 Opciones No Reguladoras

En la misma línea de entrada de tipo de fuente, el programa permite la entrada de tres entradas adicionales, N, nn.n, y SS. Donde 'nn.n' representa una altura numérica anemométrica tal como

7.5 metros. Estas entradas, cuando son introducidas, provocan que el programa utilice la opción (N) no reguladora Brode 2 Altura de Mezclado (1991), una altura anemométrica (nn.n) especificada por el usuario, y/o una opción no reguladora caída de flujo de edificio/cavidad (Schulman y Scire, 1993) (SS, en el impreso SCREEN). Mientras que entradas adicionales se requieren para la opción Schulman-Scire Caída de Flujo de Edificio / Cavidad, tal como fue analizado en la Sección 2.4.1.2, no se requiere de datos adicionales para las otras dos opciones.

3. DESCRIPCION TECNICA

La mayoría de las técnicas que se usan en el modelo SCREEN se basan en suposiciones y métodos comunes en otros modelos de dispersión de EPA. Para hacerlo breve, las largas descripciones técnicas no se repiten aquí. Esta discusión se centra en cómo estos métodos son incorporados en SCREEN y describe aquellas técnicas que son específicas de SCREEN.

3.1 Conceptos básicos en la modelación de dispersión

SCREEN usa un modelo de pluma Gaussiana que incorpora factores relacionados a la fuente y factores meteorológicos para calcular la concentración de contaminantes de fuentes continuas. Se asume que el contaminante no experimenta ninguna reacción química, y que ningún otro proceso de remoción (como deposición húmeda o seca) actúa sobre la pluma durante su transporte desde la fuente. Las ecuaciones del modelo Gaussiano y las interacciones de los factores meteorológicos o relacionados a la fuente se describen en el Volumen II de la Guía del Usuario de ISC, (EPA, 1995b) y en el Cuaderno de trabajo de estimación de la dispersión atmosférica (Turner, 1970).

El modelo Gaussiano de pluma de fuente de punto se usa en SCREEN para modelar impactos de pluma desde fuentes de punto, liberaciones por incineración y liberaciones volumétricas. La opción en SCREEN de fuente volumétrica usa un método de fuente de punto virtual, como se describe en el Volumen II (Sección 1.2.2) de la Guía del Usuario de ISC (EPA, 1995b). El usuario alimenta las dimensiones iniciales laterales y verticales de la fuente volumétrica, como se describe en la Sección 2.7.

El modelo SCREEN usa un algoritmo de integración numérica para modelar impactos de fuentes de área, como se describe en el Volumen II (Sección 1.2.3) de la Guía del Usuario del modelo ISC (EPA, 1995b). Se supone que la fuente de área tiene forma rectangular y el modelo puede usarse para estimar concentraciones dentro del área.

3.2 Peor caso en condiciones meteorológicas

SCREEN examina un rango de clases de estabilidad y velocidades del viento para identificar el "peor caso" de condiciones meteorológicas, i.e., la combinación de velocidad del viento y estabilidad que resulta en máximas concentraciones a nivel de piso. Las combinaciones de velocidad del viento y clases de estabilidad que usa SCREEN se dan en la Tabla 2. Las velocidades del viento a 10 metros dadas en la Tabla 2 se ajustan a la altura de la chimenea usando los exponentes para

la ley de potencia para el perfil del viento dados en la Tabla 3-1 del documento de procedimientos de filtrado. Para alturas de liberación menores a los 10 metros, las velocidades del viento listadas en la Tabla 2 se usan sin ajustar. Para distancias mayores a los 50 km (disponible con la opción de distancias discretas), SCREEN toma 2 m/s como límite inferior para la velocidad del viento a 10 metros para evitar tiempos de transporte irreales. La Tabla 2 incluye algunos casos que podrían no considerarse combinaciones estándar de la clase de estabilidad y/o velocidad del viento, específicamente E con velocidades del viento menores a 2 m/s y F con velocidades del viento mayores a 3 m/s. Las combinaciones de E y vientos de 1 - 1.5 m/s con frecuencia se excluyen porque el algoritmo desarrollado por Turner (1964) para determinar las clases de estabilidad en base a observaciones de rutina del Servicio Nacional Meteorológico de los Estados Unidos (NWS) excluye los casos estabilidad E para velocidades del viento menores a 4 nudos (2 m/s). Estas combinaciones se incluyen en SCREEN porque son combinaciones válidas que podrían aparecer en un grupo de datos usando datos meteorológicos tomados en su lugar con otra clase de estabilidad. Una velocidad del viento de 6 nudos (la velocidad más alta para estabilidad F en el esquema de Turner) medida a una altura típica de anemómetro de NWS de 6.1 metros corresponde a una velocidad del viento de 10 metros a 4 m/s bajo estabilidad F. Por lo tanto, la combinación de F y 4 m/s ha sido incluida.

BB

Tabla 2. Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad que usa el modelo SCREEN													
Clase de estabilidad	Velocidad del viento a 10 m (m/s)												
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	8	10	15	20
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
F	*	*	*	*	*	*	*						

El usuario tiene tres opciones para examinar datos meteorológicos. La primera opción, que se debe usar en la mayoría de las aplicaciones, es usar "Meteorología completa" la cual examina las seis clases de estabilidad (cinco para fuentes urbanas) y sus correspondientes velocidades del viento. Si se usa meteorología completa con el arreglo de distancias automático (descrito en la Sección 2), SCREEN imprime las concentraciones máximas para cada distancia, y el máximo total y su correspondiente distancia. La concentración total máxima de SCREEN representa el valor de control de 1 hora correspondiente al resultado de los Procedimientos (a) - (c) en el Paso 4 de la Sección 4.2. La meteorología completa se usa en lugar del subconjunto A, C y E o F usados en los cálculos manuales porque SCREEN proporciona las concentraciones máximas como una función de la distancia, y las clases de estabilidad A, C y E o F podrían no controlar todas las distancias. El uso de A, C y E o F podría no dar las concentraciones máximas cuando se considera la caída de flujo por edificio. La segunda opción es alimentar una sola clase de estabilidad (1 = A, 2 = B, ... , 6 = F). SCREEN examina un rango de velocidades del viento para esa clase de estabilidad solamente. Al usar esta opción, el usuario puede determinar las concentraciones máximas asociadas con cada uno de los procedimientos individuales, (a) - (c), en el Paso 4, Sección 4.2. La tercera opción es especificar una sola clase de estabilidad y velocidad del viento. Las últimas dos opciones fueron originalmente puestas en SCREEN para facilitar las pruebas solamente, pero podrían ser útiles si ciertas condiciones meteorológicas son importantes. Sin embargo, no se recomiendan para usos rutinarios de SCREEN.

La altura de mezclado que usa SCREEN para condiciones neutrales e inestables (clases A-D) se basa en una estimación de la altura de mezclado manejada mecánicamente. La altura de mezclado mecánico, z_m (m), se calcula (Randerson, 1984) como

$$z_m = 0.3 u^*/f \quad (2)$$

donde:

$$u^* = \text{velocidad de fricción (m/s)}$$

$$f = \text{Parámetro de Coriolis } (9.374 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ a } 40(\text{ de latitud}))$$

Si se usa un perfil de la velocidad del viento "log-linear" y suponiendo una longitud de aspereza de la superficie de cerca de

0.3 m, u^* se calcula de la velocidad del viento a 10 metros, u_{10} , como

$$u^* = 0.1 u_{10} \quad (3)$$

Sustituyendo u^* en la Ecuación 2 tenemos

$$z_m = 320 u_{10}. \quad (4)$$

La altura de mezclado mecánico se toma como la mínima altura de mezclado diurna. Con el fin de ser conservador para cálculos limitados de mezclado, si el valor de z_m de la Ecuación 3 es menor a la altura de la pluma, h_e , entonces la altura de mezclado que se usa en los cálculos de la concentración se dejan igual a $h_e + 1$. Para condiciones estables, la altura de mezclado se deja igual a 10,000 m para representar mezclado ilimitado.

REFERENCIAS

- U.S. Environmental Protection Agency, 1987. Guideline On Air
Quality Models (Revised) and Supplements A, B and C. EPA-
450/2-78-027R. U.S. Environmental Protection Agency,
Research Triangle Park, NC.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1988. Screening Procedures for
Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources
- Draft for Public Comment. EPA-450/4-88-010. U.S. Environmental
Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1995a: Screening Procedures for Estimating the Air
Quality Impact of Stationary Sources, Revised. EPA-450/R-92-019. U.S.
Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1995b. Industrial Source
Complex (ISC3) Dispersion Model User's Guide. EPA-454/B-95-
003b. U.S. Environmental Protection Agency, Research
Triangle Park, NC.
- Turner, D.B., 1964. A Diffusion Model for an Urban Area.
Journal of Applied Meteorology, 3, 83-91.
- Turner, D.B., 1970. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Revised, Sixth
printing, Jan. 1973. Office of Air Programs Publication No. AP-26.

ANEXO C: Norma de Calidad Primaria para MP10

D.S. No. 59 de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (D.O. 25.05.1998) Modificado por el N° D.S. N°45 de 2001, del mismo ministerio. (D.O. 11.09.2001).

**ESTABLECE NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL
PARTICULADO RESPIRABLE MP10, EN
ESPECIAL DE LOS VALORES QUE DEFINEN SITUACIONES DE
EMERGENCIA**

Santiago, 16 de Marzo de 1998.- Hoy se decretó lo que sigue:

No. 59.- Vistos: Lo dispuesto en el artículo 19 No. 8 de la Constitución Política del Estado y los artículos 32 y 85 de la ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente; lo prescrito en los artículos 67 y siguientes del Código Sanitario; lo establecido en los decretos supremo No. 32 de 1990, del Ministerio de Salud y sus modificaciones, y supremo No. 185 de 1991 del Ministerio de Minería, así como en la resolución exenta No. 369 de 1988 del Ministerio de Salud; lo establecido en el decreto supremo No. 93 de 1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; las resoluciones de esta Dirección Ejecutiva, exenta No. 492 del 25 de julio de 1997 y exenta No. 768 del 6 de noviembre de 1997, el acuerdo No. 61 del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente adoptado en sesión No. 1/98 de fecha 23 de enero de 1998, las publicaciones practicadas durante la elaboración del anteproyecto, los estudios científicos y el análisis general del impacto económico y social del anteproyecto de norma, las observaciones formuladas en la etapa de consulta del anteproyecto, el análisis de las señaladas observaciones, y los demás antecedentes, datos y documentos contenidos en el expediente público creado para estos efectos; y lo dispuesto en la resolución No. 520 de 1996 de la Contraloría General de la República, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución No. 55 de 1992 de la Contraloría General de la República,

Considerando:

Primero: Mediante resolución exenta No. 492, del 25 de julio de 1997, de esta Dirección Ejecutiva, se dio inicio a la etapa de elaboración del anteproyecto de revisión de la norma de material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia contenidas, en lo pertinente, en el decreto supremo No. 32 de 1990 del Ministerio de Salud y sus modificaciones, en la resolución exenta No. 369 de 1988 del Ministerio de Salud y en el decreto supremo No. 185 de 1991 del Ministerio de Minería.

Segundo: En dicha etapa de revisión, se acompañaron estudios científicos, informes y otros antecedentes, los que debidamente agregados al expediente respectivo, han permitido concluir que determinadas regulaciones contenidas en los decretos supremos y resoluciones ya citados requieren actualizarse y perfeccionarse, con el fin de tener un instrumento jurídico, eficaz y eficiente, que permita proteger adecuadamente la salud de la población, de la contaminación producto del material particulado respirable MP10.

Tercero: Las materias que requieren perfeccionarse, se presentan a continuación:

a) Definición de niveles que originan situaciones de emergencia por material particulado respirable MP10. El decreto supremo No. 32 de 1990 y la resolución No. 369 de 1988, ambos del Ministerio de Salud, definen como preemergencia ambiental por contaminación de partículas a la situación en que al menos una estación de monitoreo de calidad del aire de la red automática de monitoreo de contaminantes atmosféricos de la Región Metropolitana, registra una superación del nivel 300 del índice de calidad del aire por partículas, ICAP. De igual forma, se define la situación de emergencia como la superación del nivel 500 ICAP también en al menos una estación.

Considerando que las disposiciones de la presente norma tendrán alcance nacional y, por tanto, regirán no sólo los planes de descontaminación existentes sino que en futuros planes de descontaminación en áreas del país donde a la fecha se está iniciando el proceso de monitoreo de calidad del aire, se hace necesario especificar valores para definir la ocurrencia de episodios críticos de contaminación a nivel de todo el país.

b) Inclusión del sistema de pronóstico para la gestión de episodios críticos de la contaminación por material particulado respirable MP10.

El empleo por varios años en la Región Metropolitana de estaciones monitoras manuales implicó que se necesitase de aproximadamente 48 horas para contar con los valores obtenidos con estos equipos. La detección desfasada de la ocurrencia de episodios más la exigencia de la constatación de la situación para la implementación de medidas para el día siguiente, en algunos casos, implicaron la ocurrencia de episodios sin medidas implementadas o que medidas fueran aplicadas en forma atrasada, cuando el episodio ya había concluido.

Por otra parte, la reciente extensión de la cobertura geográfica de la red de monitoreo de calidad del aire en la Región, tanto en estaciones monitoras de contaminación como estaciones meteorológicas, así como la implementación de tecnologías de monitoreo que entregan información en forma horaria y con un desfase de sólo media hora, permitieron durante 1997 corroborar la existencia de zonas con peores condiciones de calidad del aire en relación a las históricamente monitoreadas.

La experiencia anterior confirma la necesidad de contar con un sistema de pronóstico que permita proteger en forma oportuna y efectiva la salud de la población.

c) Modificación de las condiciones de superación de la norma de material particulado respirable MP10. En diversas normativas internacionales de material particulado respirable propuestas en el último tiempo: europea, estadounidense, mexicana, se ha concordado en que las declaraciones de excedencia de estas normas no debieran estar asociadas a la primera superación que se obtenga del valor diario de la norma. Por esto, se proponen elementos adicionales que permitan fundamentar la decisión de que los niveles de concentración de material particulado respirable medidos corresponden a un problema que, con alguna regularidad, está afectando a la población expuesta.

d) Definiciones. Los decretos supremos y resoluciones citadas previamente contienen términos cuyas definiciones deben perfeccionarse a fin de mejorar su operatividad. Se propone complementar las definiciones existentes y además agregar otras nuevas, con el objeto de darle coherencia y operatividad a las modificaciones que se proponen al texto original.

Cuarto: Habida consideración de la cantidad de enmiendas que se proponen a los decretos supremos y resoluciones ya citados en lo relativo a la norma de material particulado respirable MP10, éstos deberían ser reemplazados en las partes que fueren contrarias o incompatibles con lo que aquí se expresa por un nuevo texto,

DECRETO:

Establécese la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, cuyo texto es del tenor siguiente:

I. DEFINICIONES

Artículo 1°. Para los efectos de lo dispuesto en este decreto, se entenderá por:

a) Material particulado respirable MP10: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrones.

b) Capacidad predictiva del pronóstico: La cantidad de horas de antelación con que se pronostica la concentración futura para una estación de monitoreo.

c) Concentración: El valor promedio temporal detectado en el aire en microgramos por metro cúbico normal (mg/m³N) de material particulado respirable.

d) Concentración de 24 horas: Corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora en 24 horas consecutivas. En caso de utilizarse monitores con resolución temporal inferior a 24 horas, o de pérdida parcial de información horaria, el número de valores a considerar en el cálculo de la media será mayor o igual que el equivalente a 18 horas.

e) Confiabilidad del pronóstico: El porcentaje de días dentro del periodo de validación en que, en una estación clasificada como EMRP el nivel constatado para el día coincide con el nivel pronosticado. Los niveles previamente mencionados son los presentados en la tabla del artículo 3° del presente decreto supremo. Para efectos del cálculo de la confiabilidad del pronóstico, se entenderá como un nivel más el correspondiente a concentraciones de 24 horas inferiores a 195 mg/m³N.

f) Estación de monitoreo de material particulado respirable MP10 con representatividad poblacional (EMRP): Una estación de monitoreo podrá clasificarse como EMRP si se cumplen simultáneamente los siguientes criterios: i) que exista al menos un área edificada habitada en un círculo de radio de 2 km, contados desde la ubicación de la estación; ii) que esté colocada a más de 15m de la calle o avenida más cercana, y a más de 50m de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día; iii) que esté colocada a más de 50m de la salida de un sistema de calefacción (que utilice carbón, leña o petróleo equivalente a petróleo-2 o superior) o de otras fuentes fijas similares.

Una EMRP tendrá un área de representatividad para la población expuesta consistente en un círculo de radio de 2 km, contados desde la ubicación de la estación.

En caso que una estación de monitoreo no cumpla con los criterios ii) o iii) señalados precedentemente, el Servicio de Salud respectivo podrá igualmente clasificarla como EMRP si existen antecedentes de que dicho incumplimiento no genera interferencia en la calidad de la información aportada por el monitoreo. Para tal efecto, se deberán tomar en consideración aspectos tales como el bajo flujo vehicular en calles o avenidas, el material del que están construidas las calles o avenidas, o bien, la operación esporádica y/o circunstancial de fuentes fijas como las indicadas.¹

g) Índice de calidad de aire referido a partículas (ICAP): El indicador que resulte de la aplicación de una función lineal segmentada que estará definida por tres puntos:

ICAP	MP10 ug/M ³ N (24 horas)
0	0
100	150
500	330

Los valores intermedios se interpolarán linealmente. Solamente para efectos de evaluar esta función, se usará el valor de MP10 como igual a cero (0) mg/m³N cuando el ICAP es igual a cero (0).

En cualquier otro cálculo, el valor MP10 igual a 0 mg/m³N será equivalente con el límite inferior de detección del instrumento de medición.

h) Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de los valores efectivamente medidos en cada estación, redondeados al mg/m³N más próximo. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_k \dots < X_n - 1 < X_n$$

El Percentil será el valor del elemento de orden "k" para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula: $k = q \cdot n$, donde "q" = 0,98 para el Percentil 98, y "n" corresponde al número de valores efectivamente medidos. El valor "k" se redondeará al número entero más próximo.

1 Inciso introducido por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial.

i) Período de generación de información: El conjunto de días del que se obtiene la información necesaria para construir la aplicación de una metodología de pronóstico. La información utilizada deberá ser representativa de un período equivalente, al menos, al mismo conjunto de días del año para el que fue concebido el método de pronóstico, debiendo este período ser previo al período utilizado para validación.

j) Período de validación: El conjunto de días usado para evaluar la confiabilidad del pronóstico. Este período deberá corresponder al menos al mismo conjunto de días del año para el que fue concebido el método de pronóstico. En este período no se podrá incluir información distinta de aquella con la que se construyó la aplicación de la metodología de pronóstico.

k) Efectos crónicos: aquellos producidos por la acción de concentraciones variables de contaminantes durante períodos prolongados de exposición. Se manifiestan por un aumento de la incidencia y la gravedad de enfermedades tales como asma bronquial, bronquitis obstructiva crónica, enfisema pulmonar y cáncer.

l) Concentración mensual: media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración de 24 horas en cada estación monitora, en un mes calendario. Sólo se considerará como valor de concentración mensual válido, aquel que resulte de al menos el 75% de las mediciones programadas para el mes, de acuerdo a la periodicidad de monitoreo previamente definida.

m) Concentración anual: media aritmética de los valores de concentración mensual en cada estación monitora, en un año calendario.

n) Año calendario: período que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.

ñ) Mes calendario: período que se inicia el día 1° de un mes y culmina el día anterior al día 1° del mes siguiente.

o) Material particulado fino MP_{2,5}: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 2,5 micrones.

p) Vigilancia epidemiológica: Diseño metodológico que permite conocer y cuantificar durante distintos períodos del año, los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población²

II. DEFINICION DE LA NORMA PRIMARIA Y DE LOS NIVELES DE CALIDAD DEL AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10

Artículo 2° La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal (150 mg/m³N) como concentración de 24 horas.

Se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora clasificada como EMRP, sea mayor o igual a 150 mg/m³N.

Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluyese el primer período anual de mediciones certificadas por el Servicio de Salud competente se registrare en alguna de las estaciones monitoras de Material Particulado Respirable MP10 clasificada como EMRP, un número de días con mediciones sobre el valor de 150 mg/m³N mayor que siete

(7).

2 Letras k) a la p) introducidas por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial.

A contar del día 1° de enero del año 2012, la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, será de ciento veinte microgramos por metro cúbico normal (120 µg/m³N) como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para Material Particulado Fino MP2,5, en cuyo caso se mantendrá el valor de la norma establecido en el inciso primero.

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es cincuenta microgramos por metro cúbico normal (50 µg/m³N) como concentración anual.

Se considerará sobrepasada la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable MP10, cuando la concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que 50 µg/m³, si correspondiere de acuerdo a lo que se indica en el punto IV. Metodologías de Pronóstico Y Medición.^{3 4}

III. DEFINICION DE LOS NIVELES QUE DETERMINAN LAS SITUACIONES DE EMERGENCIA AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10

Artículo 3° Defínanse como niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para Material Particulado Respirable MP10, aquellos de acuerdo a los cuales el valor calculado para la calidad del aire, en concentración de 24 horas, se encuentre en el respectivo rango señalado en la Tabla siguiente:

Nivel	Material Particulado Respirable MP10 (µg/m ³ N) en 24 horas
Nivel 1°	195 - 239
Nivel 2°	240 - 329
Nivel	330 o superior

Las concentraciones serán obtenidas a partir de una metodología de pronóstico de calidad del aire, o bien, en caso que no se cuente con esta metodología, de la constatación de las concentraciones de Material Particulado Respirable MP10, a partir de las mediciones emanadas desde alguna de las estaciones de monitoreo de calidad del aire clasificadas como EMRP.

IV. METODOLOGIAS DE PRONOSTICO Y MEDICION

Artículo 4° Para los efectos de lo señalado en el artículo anterior, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad del aire, aquella que:

1°) Entregue el valor máximo de concentración de 24 horas esperado para el día siguiente o un período superior, para cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire clasificadas como EMRP que hayan alcanzado al menos alguno de los niveles establecidos en la Tabla del **Artículo 3°**, en el período de generación de información;

2°) Entregue una confiabilidad del pronóstico en el período de validación que sea superior al 65% por estación monitorea clasificada como EMRP, calculada utilizando el nivel asociado al valor máximo de concentración de 24 horas esperado;

³ Incisos 4°, 5° y final introducidos por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial

⁴ De acuerdo al Art. segundo del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES, sólo podrán declararse zonas saturadas o latentes en virtud de la norma anual de Material Particulado Respirable MP10, a partir de la información que se genere a contar del 1° de enero del año 2002.

3°) Considere, además, los siguientes elementos:

- a) Período de uso del pronóstico en el año calendario;
- b) Zona geográfica de aplicación;
- c) Requerimientos para la operación del pronóstico;
- d) Hora de comunicación del pronóstico;
- e) Capacidad predictiva del pronóstico (al menos 24 horas);
- f) Estimación y caracterización del error de la metodología.

4°) Podrá considerar según la situación específica en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:

- g) Emisiones de material particulado respirable y sus precursores;
- h) Condiciones meteorológicas;
- i) Ciclos de emisiones observados;
- j) Procesos de acumulación y remoción de contaminantes;
- k) Condiciones topográficas.

El Servicio de Salud respectivo, mediante una resolución fundada que deberá publicarse en extracto en el Diario Oficial, deberá aprobar la forma en que se aplicará la metodología de pronóstico a cada caso particular. Esta resolución tendrá como antecedente un informe de carácter técnico realizado por expertos independientes, nacionales o internacionales, en el que constaten los resultados obtenidos en la etapa de validación de la metodología de pronóstico.

La metodología no podrá ser utilizada hasta la publicación de la resolución establecida en el inciso anterior.

Artículo 5° Respecto a condiciones de operación de una metodología de pronóstico de calidad del aire,

a) En el caso que se constatare superación de alguno de los niveles que definen situaciones de emergencia, que no haya sido detectado por la metodología de pronóstico de calidad del aire, esta situación deberá informarse oportunamente a la comunidad;

b) En el caso que se detectase un cambio en las condiciones meteorológicas posterior a la hora de comunicación del pronóstico, que asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad del aire que invalide los resultados entregados por la metodología de pronóstico respecto a la superación de alguno de los niveles que definen situaciones de emergencia, la autoridad indicada en el artículo 10° podrá dejar sin efecto la declaración de episodio crítico o adoptar las medidas correspondientes a los niveles menos estrictos, cumpliendo con las mismas formalidades a que está sujeta la declaración de estas situaciones;

c) La aplicación para un caso particular de dicha metodología, podrá ser modificada en consideración a nuevos antecedentes que involucren mejoras, por ejemplo, en la capacidad de predicción o en la extensión geográfica involucrada;

d) Las modificaciones que se introduzcan con posterioridad a las metodologías, deberán verificarse de acuerdo al mismo procedimiento que el indicado en el artículo 4°.

Artículo 6° El Servicio de Salud respectivo, mediante resolución fundada, deberá aprobar la clasificación de una estación monitorea de material particulado respirable como una EMRP, de acuerdo a las condiciones establecidas en la definición que se indica en el artículo 1° de la presente norma.

Las condiciones de cumplimiento para tal clasificación deberán ser evaluadas nuevamente

en la etapa de recopilación de antecedentes para la declaración de una zona como saturada o latente y en la etapa de revisión periódica de los planes de descontaminación o de prevención.

De igual manera cuando la Dirección Regional de la Comisión Nacional del Medio Ambiente lo solicite o el Servicio de Salud respectivo lo disponga.

Para cada EMRP el Servicio de Salud competente deberá indicar una estimación de la población expuesta, en valor absoluto y como porcentaje de la población total expuesta en la zona saturada y la identificación del área geográfica específica.

Artículo 7° Para efectos del monitoreo del Material Particulado Respirable MP10, los métodos de medición serán:

- Método gravimétrico de muestreador de alto volumen equipado con cabezal PM-10;
- Método gravimétrico de muestreador de bajo volumen equipado con cabezal PM-10;
- Método por transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. Microbalanza de oscilación de sensor en voladizo con cabezal PM-10;
- Métodos basados en el principio de atenuación beta.

El monitoreo se deberá efectuar a lo menos una vez cada tres días y realizarse en concordancia con los requerimientos para instalación, calibración y operación de los equipos de muestreo y análisis, aprobados por el Servicio de Salud competente.

Si en alguna de las estaciones de monitoreo de calidad del aire clasificadas como EMRP, se detectan concentraciones de Material Particulado Respirable MP10, mayores que el valor mínimo del Nivel 1° definido en el artículo 3°, con las mediciones de uno de los métodos no continuos indicados previamente en al menos tres (3) de los días monitoreados en el año calendario; se deberá practicar, en aquellos meses en que se constate dicha superación y para la estación en que se midieron tales concentraciones, mediciones de monitoreo con frecuencia al menos diaria, o mediciones de monitoreo con métodos del tipo continuo.

En el caso que se disponga información de estaciones de monitoreo, con resolución temporal inferior a la diaria, deberá calcularse la concentración de 24 horas asociada a cada uno de los intervalos medidos.

Los datos que, sobre la base de información objetiva verificada por el Servicio de Salud respectivo, sean el resultado de fenómenos excepcionales y transitorios que afecten la representatividad temporal y/o espacial de la muestra, no se incluirán en las mediciones a considerar para los efectos de entender verificada la condición que hace procedente la declaración de una zona como latente o saturada.

Se considerará como valor de concentración anual válido, aquel determinado a partir de mediciones realizadas durante a lo menos 11 meses del año calendario. En caso que durante un año calendario se disponga de mediciones para más de 8 y menos de 11 meses, para completar el período mínimo señalado, se considerará como valor mensual de cada mes faltante, la concentración mensual más alta medida en los 12 meses anteriores a cada mes faltante. Si se dispone de valores sólo para 8 o menos meses, no se podrá calcular un valor de concentración anual para la estación de monitoreo correspondiente⁵.

Artículo 7° bis: Para efectos de determinar los lugares prioritarios dentro del país, en que se deberá instalar redes de monitoreo a fin de evaluar el cumplimiento de la presente norma, deberán considerarse los siguientes antecedentes, en el siguiente orden de importancia:

a) Composición química del Material Particulado Respirable MP10, en términos de su toxicidad, a la que está expuesta la población y la cantidad de población urbana expuesta en la zona en estudio;

b) Valores absolutos de concentraciones de Material Particulado Respirable MP10 medido, y tendencias históricas, positivas o negativas, de dichos valores

5 Incisos 5° y 6° introducidos por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial

c) Presencia de desarrollos industriales significativos que produzcan un impacto por emisiones de material particulado respirable sobre la zona en estudio y volumen del parque automotor existente en la zona en estudio ⁶

Artículo 8° Para efectos del emplazamiento de un colector de muestras de MP10 en una EMRP, se deben considerar los siguientes aspectos:

a) Como criterio general en las estaciones de monitoreo, es favorable que los colectores estén a una distancia mínima de separación.

b) Se requiere tomar la muestra a alturas que vayan desde los 2 a 15 m sobre el nivel del suelo.

c) Obstrucciones espaciales:

i) Si el monitor es colocado sobre un techo o sobre otra estructura similar, entonces debería estar mínimo a 2m de distancia de la pared más cercana, de una casa o cualquier otro obstáculo vertical;

ii) Es aconsejable que los colectores estén a una distancia de aproximadamente 10 veces la altura del obstáculo mayor que esté en la misma dirección del viento.

iii) En el caso de emisiones de chimeneas producidas por la combustión de gas natural, se debiera tomar como precaución ubicar el muestreador a lo menos a 5m de distancia de la chimenea.

iv) Los árboles proporcionan una buena superficie para la acumulación de partículas, además de restringir un flujo expedito del aire.

De esta forma, es favorable que un muestreador sea colocado a lo menos a 20m. de la línea de goteo de la rama más larga de un grupo determinado de árboles y a 10m de ella, si es que este obstáculo actúa como un reductor del flujo.

v) La posición de un colector debe ser tal, que permita un área libre de obstáculos que proporcione a lo menos un arco de 270° para poder recolectar libremente y sin restricciones las muestras de MP10.

V. DE LA APLICACION DE MEDIDAS POR SUPERACION DE LOS NIVELES QUE DEFINEN SITUACIONES DE EMERGENCIA AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10.

Artículo 9° Las medidas particulares asociadas a cada uno de los niveles definidos en el artículo anterior, serán determinadas en el plan operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación, contenido en el respectivo plan de descontaminación.

VI. CONTROL DE EPISODIOS CRITICOS DE LA CONTAMINACION POR MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10

Artículo 10° Corresponderá a las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (COREMA) la coordinación de los distintos servicios públicos en la gestión de los episodios críticos de contaminación, en la forma definida en el respectivo Plan. Cuando se vea afectada más de una región, la coordinación la realizará la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

6 Artículo introducidos por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial

La información recabada por los distintos organismos públicos respecto a las materias contenidas en esta norma, se entregará a las autoridades o instituciones con competencia en materia ambiental, a las personas u organizaciones que lo soliciten y, en general, será puesta a disposición de la comunidad.

VII. FISCALIZACION DE LA NORMA

Artículo 11° Corresponderá a los Servicios de Salud del país y, en la Región Metropolitana al Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

VIII. VIGENCIA

Artículo 12° La presente norma entrará en vigencia 15 días después de su publicación en el Diario Oficial.

IX. DEROGACIONES O MODIFICACIONES

Artículo 13° Modifícanse a contar de la fecha de vigencia de esta norma las siguientes disposiciones en la forma que a continuación se indica:

1° Decreto Supremo No. 185 de 1991 del Ministerio de Minería:

- a) En el artículo 3°, suprimase en la letra b) la frase "o de material particulado".
- b) En el artículo 4°, suprimanse las frases "material particulado respirable" y "Material particulado respirable: Ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal (150 mg/Nm3) como concentración media aritmética diaria, y".
- c) En el artículo 9°, suprimase en el inciso 3° la frase "o de material particulado". d) En el artículo 35°.
- d.1.- suprimase en la letra a) el siguiente párrafo: "-Para material particulado respirable: Muestreador gravimétrico de alto volumen equipado con cabezal PM-10".
- d.2.- elimínese la letra b), pasando la actual letra c) a ser la nueva b), y modifíquese la ordenación correlativa.

2° Resolución exenta No. 369, de 1988, del Ministerio de Salud:

- a.- Elimínese el punto 2.-
 - b.- En el punto 3.- reemplácese la frase "Tanto el ICA como el ICAP darán origen", por la siguiente: "El ICA dará origen".
- 3° Toda norma, resolución o disposición anterior en la parte que fuere contraria o incompatible con las disposiciones señaladas en esta norma.

X. SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA DE LOS EFECTOS EN SALUD DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Artículo 14°.- Los Servicios de Salud, que el Ministerio de Salud determine, deberán establecer un procedimiento sistemático que permita evaluar, en períodos de 5 años, la efectividad de los niveles fijados en la presente norma en relación a la prevención de efectos crónicos en la salud de la población, priorizando aquellas zonas del país en que exista mayor concentración poblacional.

XI. ARTICULOS TRANSITORIOS

Artículo 1° Transitorio.- Las disposiciones contenidas en esta norma serán incorporadas en lo que corresponda a los planes de prevención o descontaminación por material particulado que se encuentren vigentes o en trámite a la fecha de su entrada en vigencia, adelantando para estos efectos los plazos de revisión de dichos planes si fuere necesario.

7 Título y Artículo introducidos por el Art. primero del D.S. 45 de 2001, del MINSEGPRES. El Art. tercero del D.S. 45, publicado el 11.09.2001, dispuso que la presente modificación rige a contar del primer día del mes subsiguiente a su publicación en el Diario Oficial

En el caso de que exista una diferencia en cuanto a la denominación de los distintos niveles de episodios críticos, se entenderán modificados por esta norma sin necesidad de revisión posterior.

En cualquier caso, el uso de la metodología de pronóstico establecida en esta norma estará sujeta a la oficialización de su aplicación concreta para un caso particular.

Artículo 2° Transitorio.- Para la primera aplicación de la metodología de pronóstico contemplada en esta norma que se establezca para una zona determinada, se observarán las siguientes condiciones:

a) se podrá utilizar una metodología de pronóstico cuya confiabilidad en al menos el 66% de las estaciones de monitoreo clasificadas como EMRP para material particulado respirable MP10 y a utilizar en la metodología de pronóstico, sea mayor que 65%, y

b) que todas las estaciones de monitoreo clasificadas como EMRP para material particulado respirable MP10 y a utilizar en la metodología de pronóstico cumplan con una confiabilidad mayor que 50%.

Las condiciones indicadas en este artículo sólo podrán utilizarse siempre que dicha aplicación sea implementada dentro de los 180 días siguientes a la entrada en vigencia de esta norma.

Anótese, tómese razón, comuníquese y archívese.- EDUARDO FREI RUIZ-TAGLE, Presidente de la República.- Juan Villarzá Rohde, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Alex Figueroa Muñoz, Ministro de Salud.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda Atte. a Ud., Carlos Carmona Santander, Subsecretario (S) General de la Presidencia de la República.

CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA División
Jurídica

Cursa con alcance el decreto No. 59, de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República
No. 17.670.- Santiago, 19 de Mayo de 1998.-

La Contraloría General ha dado curso regular al documento del rubro, mediante el cual se establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, por cuanto se ajusta a derecho.

Sin perjuicio de lo anterior, cumple con hacer presente que la referencia que se hace en su

artículo 9° al "artículo anterior" debe -de conformidad con los antecedentes adjuntos y el contexto de las disposiciones correspondientes- entenderse efectuada al artículo 3° del mismo acto administrativo.

Con el alcance que precede se ha tomado razón del decreto individualizado en el epígrafe. Dios guarde a US.- Arturo Aylwin Azócar, Contralor General de la República.

ANEXO D: Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos

**Ministerio de Salud
SUBSECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA**

APRUEBA REGLAMENTO DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

N° 61.-

Publicado en el Diario Oficial de 19.11.08

Santiago, 18 de junio de 2008.-

Visto: Lo dispuesto en los artículos 1°, 2°, 3°, 89 y en el Libro Décimo del Código Sanitario, aprobado por decreto con fuerza de ley N°725, de 1967, del Ministerio de Salud; en la ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el decreto N°93, de 1995, de la Secretaría General de la Presidencia; en los artículos 4° y 7° del DFL N° 1, de 2005, y las facultades que me confiere el artículo 32 N° 6 de la Constitución Política de la República, y

Considerando:

- Que corresponde a la Autoridad Sanitaria velar por el cumplimiento de las normas primarias de calidad de aire.
- Que para la verificación del cumplimiento de las normas primarias de calidad de aire se requiere de la existencia de estaciones de monitoreo con representatividad poblacional.
- Que en las estaciones de monitoreo de calidad del aire se verifica la presencia de distintos contaminantes, y sus resultados sirven de base para acreditar la calidad del aire ante organismos del Estado.
- Que corresponde a la autoridad sanitaria velar por la correcta medición y caracterización de las concentraciones ambientales de los contaminantes atmosféricos de interés sanitario, por lo que es necesario regular las características y condiciones mínimas con las cuales las estaciones de monitoreo de la calidad del aire deben operar,

Decreto:

Apruébase el siguiente Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos:

TÍTULO I Disposiciones Generales

Artículo 1°.- El presente reglamento se aplica a las condiciones de instalación y funcionamiento de las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos, sea que éstas pertenezcan a organismos públicos o a personas naturales o jurídicas privadas, para efectos de que sus mediciones sean consideradas válidas para la autoridad sanitaria respectiva.

Toda instalación destinada a la verificación del cumplimiento de una norma primaria de calidad de aire y que deba ser calificada como de representación poblacional por la autoridad sanitaria, debe ser instalada considerando los criterios establecidos en las normas primarias de calidad de aire vigente.

Artículo 2°.- Para efectos de este reglamento las expresiones que a continuación se indican tendrán el significado que se señala:

a) Calibración: Operación que establece la relación entre la lectura de un instrumento de medición o sensor y, el valor obtenido por un patrón.

b) Contaminante de interés sanitario: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico cuya presencia en el aire pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.¹

c) Datos crudos: Valores obtenidos directamente del monitor o sensor, expresados en sus dimensiones físicas correspondientes, sobre los cuales no se ha aplicado ningún tipo de intervención con posterioridad a la medición.

d) Dato no representativo: Dato correctamente medido pero afectado de manera tal por un evento fortuito local, que puede ser descartado para efectos de la estadística, atendidos los antecedentes que le dieron lugar.

e) Estaciones de monitoreo: estaciones de monitoreo de la calidad del aire, reguladas en este reglamento.

f) Exactitud: Diferencia entre el valor medido y el valor real, la cual se expresa en porcentaje.

g) Precisión: Grado de variación entre lecturas equivalentes de un valor medido.

h) Formato de fecha: Para efectos del monitoreo oficial de contaminantes atmosféricos, el formato de fecha y hora será el siguiente:

- aaaammdd: ejemplo 20041125 es el 25 de noviembre de 2004
- hhmm: ejemplo 1525 son las 15:25 hrs.

i) Hora: Se define la hora como aquel período de 60 minutos que parte en el minuto uno de la hora y termina en el minuto 60 de la misma, así entonces, la hora 17 del día corresponde al período comprendido entre las 17:01 a las 18:00 inclusive.

j) Norma primaria: Aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos permisibles, máximos o mínimos, de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia.

k) Patrón primario: Patrón reconocido por poseer la más alta calidad de medición y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud, el cual debe acreditar certificación.

l) Patrón secundario: Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

m) Precisión aceptada: Es el valor máximo de variación aceptado expresado en porcentaje.

n) Promedio diario: Aquel que se calcula con la información medida entre la hora 0 y la hora

23. El promedio diario deberá calcularse con al menos 18 valores de promedio. En la medición de material particulado con equipos basados en el método gravimétrico de alto y bajo volumen, el promedio diario se calculará sobre la base de 18 horas continuas de medición. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las normas primarias de calidad del aire respectivas.

² ñ) Promedio horario: Corresponde al que se calcula con los valores medidos entre el minuto uno y el minuto 60 de la hora. El promedio horario, para el caso de monitores continuos de gases, debe calcularse sobre el promedio de las mediciones realizadas durante cinco minutos consecutivos, es decir, el promedio horario se obtendrá de promediar aritméticamente 12 valores promedio. En el caso de los medidores continuos de material particulado, el valor promedio horario se calculará sobre el promedio de las mediciones realizadas durante 15 minutos consecutivos, es decir, el promedio horario se obtendrá de promediar aritméticamente 4 valores promedio.

¹ Letra sustituida, como aparece en el texto, por la letra a) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

² Letra sustituida, como aparece en el texto, por la letra b) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

En todo caso, el valor promedio horario puede ser calculado sobre la base de un número mayor de promedios a petición de la autoridad sanitaria. Ello sin perjuicio de lo dispuesto en las normas de calidad del aire respectivas.³

o) Resolución temporal: Período que emplea un monitor, sensor o muestreador ambiental para realizar una medición discreta.

p) Span: Punto de calibración para analizadores de gases, en el cual se observa la respuesta del analizador a una concentración entre el 80% y 90% de su rango de medición.

q) Tolerancia de mezcla: Es la diferencia entre la medición de la concentración de un gas en mezcla y la concentración requerida, expresada en porcentaje.

r) Validación de los datos: Proceso realizado por un especialista en el cual se acepta, modifica o rechaza un dato crudo, considerando evidencias objetivas basadas en información obtenida de curvas de ajuste, bitácora de la estación y/o parámetros internos de los equipos.

s) Zero: Punto de calibración para analizadores de gases, en el cual se observa la respuesta del analizador a una muestra de aire puro, libre de contaminantes gaseosos. A esta muestra de aire limpio o puro se le llama "Aire Zero" o "Gas Zero".

t) Zona horaria: Se utilizará para el monitoreo de contaminantes el horario oficial de Chile continental de invierno (GMT -4).

Artículo 3°.- Todas las estaciones de monitoreo de calidad del aire que realicen mediciones de contaminantes atmosféricos de interés sanitario de conformidad con la normativa vigente, y las que monitoreen una norma primaria de calidad del aire se sujetarán a las disposiciones del presente reglamento.⁴

TÍTULO II

De las Instalaciones, Instrumental e Insumos

Artículo 4°.- Las estaciones de monitoreo de calidad del aire deberán estar construidas en materiales sólidos y resistentes a las distintas condiciones climáticas imperantes en los lugares en donde estén emplazadas.

Con el objeto de asegurar que las mediciones realizadas en dicha estación se han efectuado bajo las condiciones establecidas en el presente decreto, y sin intervención de personas no autorizadas, ellas deberán tener una conformación o medios que permitan impedir el acceso, tanto a los equipos e insumos como al sistema de toma muestra, de personas distintas de sus propietarios u operadores. Esta exigencia es también aplicable a los equipos portátiles y a aquellas instalaciones en las cuales los analizadores de gases o muestreadores de material particulado estén contenidos en habitáculos que los protegen de la intemperie.

Artículo 5°.- Las estaciones de monitoreo sólo deberán emplear instrumentos de medición de concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos incluidos en la lista de Métodos Denominados de Referencia y Equivalentes publicada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica o que cuenten con certificación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones o que tengan certificación de que dan cumplimiento a los estándares de calidad exigidos en el país de origen entregada por algún ente acreditado por el gobierno de ese país. Ello, sin perjuicio de lo dispuesto en las normas primarias de calidad del aire respectivas.⁵

Artículo 6°.- Los sistemas de tomas de muestra deben ser construidos en materiales no reactivos con los gases muestreados, tales como vidrio, acero galvanizado, pvc o acero inoxi-dable.

³ Letra modificada, como aparece en el texto, por la letra c) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

⁴ Artículo sustituido, como aparece en el texto, por la letra d) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

⁵ Artículo sustituido, como aparece en el texto, por la letra e) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

El diseño de estos sistemas debe ser tal que asegure que el tiempo de residencia de la muestra no es mayor a 20 segundos, entendiéndose por ello aquel que tarda la muestra en viajar desde la entrada de la toma de muestra hasta la entrada del analizador. Además, el sistema de toma de muestra debe tener un sistema de extracción de humedad del flujo muestreado.

Los sistemas de toma de muestra contruidos para casetas de monitoreo deben conservar una distancia mínima de un metro entre el techo de la caseta y la entrada del sistema de toma de muestra. Además, la entrada de la toma de muestra debe estar ubicada a una altura superior a 3 metros e inferior a 10 metros sobre el nivel del piso.

Artículo 7°.- Toda estación de monitoreo deberá mantener un registro de los parámetros operacionales básicos recomendados por el fabricante de los equipos y sensores, así como, también, de los subsistemas contenidos en la estación: sistema de almacenamiento de los datos, sistema de toma de muestras, sistema de acondicionamiento de temperatura, sistema de calibración in-situ y similares.

Dichos parámetros operacionales deben obtenerse de los equipos, sensores y subsistemas con una frecuencia mínima de 3 días si los datos no están en línea, y una vez a la semana, si los datos están en línea.

Artículo 8°.- Las estaciones de monitoreo deben llevar un libro foliado de registro, o bitácora, en el cual se debe consignar toda información relevante para el buen funcionamiento y operación de ésta, cada vez que es visitada por un operador. Este libro deberá contener, al menos, la siguiente información:

1. Nombre del operador que visita la estación.
2. Fecha y hora de inicio y término de la visita.
3. Descripción del trabajo realizado en la estación.
4. Registro de la hora de intervención de algún equipo, en su caso.
5. Conclusión del chequeo instrumental (si corresponde al objetivo de la visita).
6. Breve descripción de las condiciones meteorológicas del entorno en la estación.
7. Breve descripción de situaciones fuera de lo común que sucedan en el entorno de la estación y que puedan afectar la representatividad de las mediciones realizadas, si las hubiera.

Artículo 9°.- Las casetas de monitoreo en cuyo interior funcionen equipos monitores o sensores, que trabajan en rangos de temperatura determinadas por los fabricantes, deben estar climatizadas manteniendo un rango entre los 20° y 30° grados Celsius de temperatura. Cualquier otro rango de temperatura existente al interior de la caseta debe ser tal que permita el buen funcionamiento de cada uno de los instrumentos, sensores o subsistemas que allí operen y, por tanto, debe contar con el correspondiente respaldo técnico.

Artículo 10.- A lo menos una vez al año⁶ debe realizarse un chequeo de señales de transmisión de los sistemas y subsistemas contenidos en las estaciones de monitoreo, corroborando la calidad de la señal de los equipos analizadores o sensores, con el sistema de almacenamiento de los datos. Para esto, se debe verificar la coincidencia de los valores de la señal generada (sea esta expresada en voltaje, corriente, frecuencia u otra) por el analizador o sensor y la señal que se recibe en la central de almacenamiento, sea esta un computador, datalogger o cualquier otro medio de almacenamiento de información. Tal verificación debe quedar registrada en el libro de vida del analizador o sensor.

En el caso de los subsistemas, se debe verificar que las señales del computador, datalogger u otro coincidan con los datos del sistema de adquisición de datos, lo que debe quedar registrado en la bitácora de la estación.

El proceso de verificación de señales debe repetirse cada vez que se cambia un equipo o sensor, y cuando se realicen cambios en los subsistemas que impliquen posibles interferencias en las señales.

Artículo 11.- Con el objeto de asegurar el buen funcionamiento de los analizadores y equipos utilizados en la estación de monitoreo, se deberán realizar las siguientes rutinas de control:

a) Calibración de flujos y presiones en los analizadores de gases, muestreadores de material particulado y en los sistemas de calibración de gases, a lo menos una vez al año y cada vez que se realice una intervención mayor que implique desarme o reemplazo de partes de estos equipos, utilizando para tal efecto un patrón con certificación vigente. La exactitud máxima permitida entre el patrón y el equipo calibrado es de un 10%. Un porcentaje mayor

⁶ Frase sustituida, como aparece en el texto, por la letra f) del Dto. N° 30/09, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 21.09.09

obliga a hacer ajustes. En todo caso, si las calibraciones antes señaladas tienen una frecuencia mayor, definida por el fabricante, se deberán observar dichas frecuencias.

b) Calibración de medidores y/o sensores meteorológicos, con una frecuencia no superior a un año. Si las condiciones ambientales a las que dichos sensores están expuestos son muy desfavorables para el buen funcionamiento de los medidores, se deberá hacer la calibración a intervalos menores, según determine la autoridad sanitaria, sobre la base de las condiciones concretas existentes.

Las calibraciones deberán realizarse con patrones de acuerdo a lo definido en el artículo 2° del presente decreto.

c) Calibración multipunto en los analizadores de gases. Este tipo de calibraciones deberán realizarse con gases de calibración que cumplan protocolo USEPA, o equivalente, con una exactitud analítica del 2% y tolerancia de mezcla del 5%. A su vez, el aire Zero utilizado en la calibración debe provenir de un generador de aire Zero con mantención vigente, o bien, de un cilindro certificado como aire ultra zero. En caso de utilizarse para la calibración un dilutor de gases, éste debe tener vigente su calibración de flujos.

Frecuencia de realización de estas calibraciones, según el contaminante medido o de acuerdo al sensor meteorológico utilizado:

Tabla 1.

Monitor o sensor	Frecuencia mínima
CO, SO ₂ , O ₃	Una vez al año
NO ₂	Una vez cada tres meses

La calibración multipunto debe realizarse con al menos 5 puntos, incluyendo los puntos zero y span, distribuidos de manera tal que permitan verificar la respuesta lineal del equipo analizador de gas. La exactitud máxima permitida para cada punto utilizado en la calibración (referida a la concentración del gas de calibración) es de un 10%; un porcentaje mayor obliga a realizar ajustes.

d) Calibración de Zero y Span en los analizadores de gases a lo menos una vez a la semana, considerándose aquella comprendida entre un día domingo y el sábado siguiente. La calibración de zero y span puede realizarse con gases de calibración con exactitud analítica de hasta el 2%. La exactitud máxima permitida en la calibración es de 10%; un porcentaje mayor amerita ajuste. Este ajuste puede realizarse sólo si las operaciones descritas anteriormente se realizan con gases con certificación vigente y con los equipos anexos con sus mantenciones también vigentes.

Además de las calibraciones periódicas, deberán realizarse calibraciones de zero y span cada vez que se instale un equipo monitor que ha sido trasladado y deberá realizarse una calibración multipunto siempre que un equipo monitor sea intervenido para cambio de piezas o partes.

Artículo 12.- Con el objeto de asegurar el correcto registro y seguimiento de las obligaciones establecidas en los artículos 10 y 11, precedentes, se deberá mantener, en la estación de monitoreo, una ficha de calibración y una ficha de mantención para los elementos allí regulados. Estas fichas deberán contener, a lo menos, la información que se detalla a continuación:

- a) Ficha de calibraciones:
- Identificación del equipo calibrado.
 - Nombre de la empresa, laboratorio o personal que realiza la calibración.
 - Fecha de realización.
 - Hora de inicio y de término de la calibración.
 - Identificación del operador.
 - Definición del patrón utilizado, de acuerdo al artículo 2°.
 - Condiciones ambientales, como mínimo la temperatura ambiental.
 - Cuadro comparativo con valores patrones o nominales.
 - Cálculo de la exactitud del equipo calibrado. Se deberá registrar todos los datos utilizados para dicho cálculo, los cuales deben, a lo menos, incluir los flujos del gas patrón y dilución para el caso de los equipos monitores de gases; los valores obtenidos para los filtros pre-masados en el caso de los equipos medidores de material particulado basados en el principio de transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas; la curva del calibrador de los equipos medidores de material particulado de alto volumen.

- b) Ficha de atención:

- Identificación del equipo al cual se le realizó la mantención.
- Nombre de la empresa, laboratorio o personal que realiza la mantención.
- Fecha de realización.
- Hora de inicio y de término de la mantención. Especificar si la mantención es causa de pérdida de datos.
- Definición de si la manutención es preventiva o correctiva.
- Calibración preliminar del equipo (cuando es posible utilizar estos datos para el diagnóstico preliminar o para ajuste de datos anteriores a la mantención).
- Diagnóstico preliminar del equipo.
- Detalle del trabajo efectuado con el equipo.
- Resultados de la calibración final del equipo, para lo cual se deben adjuntar todos los datos que correspondan de la letra a), anterior.
- Diagnóstico final del equipo.

TÍTULO III **Del Personal**

Artículo 13.- El personal dedicado a la validación de la información debe poseer conocimientos prácticos sobre la operación de la estación en su conjunto, lo cual incluye saber del funcionamiento de los equipos monitores y sensores así como también de las respuestas esperables de los mismos teniendo en cuenta el entorno de la estación. Adicionalmente, debe ser capaz de interpretar correctamente los posibles efectos sobre los datos que pueden generarse a partir de las actividades de calibración, revisión y corrección que se realiza en terreno a los equipos y sensores.

Artículo 14.- El personal de laboratorio que realiza las tareas de acondicionamiento y pesaje de los filtros utilizados en el muestreo de material particulado debe tener la calidad de técnico o profesional, además de conocimientos prácticos que aseguren su idoneidad para efectuar el servicio de laboratorio. El monitoreo de material particulado debe efectuarlo en conformidad con lo dispuesto en el artículo 23 de este reglamento.

Artículo 15.- El personal de instrumentación debe pertenecer a alguna de las siguientes tres áreas y poseer la calificación que, en cada caso, se indica:

a) Supervisor de operación y mantención: capaz de establecer programas y procedimientos de trabajo en conjunto con instrumentistas y operadores, con el objetivo de mantener los analizadores, muestreadores, sensores y cada subsistema operando en óptimas condiciones para garantizar que el dato sea correctamente medido desde el punto de vista técnico.

b) Instrumentista especializado: profesional o técnico especializado en la mantención preventiva y correctiva de los analizadores, muestreadores, sensores y cada subsistema de una estación de monitoreo.

c) Operador: Persona calificada o entrenada para la utilización de todos los componentes de una estación a nivel de usuario, por lo que debe ser capaz de determinar el buen funcionamiento de estos componentes y detectar fallas en terreno para comunicarlas al instrumentista especializado o supervisor. Además de calificación técnica, el operador debe estar calificado para la revisión del entorno de la estación y determinar la influencia de situaciones externas que puedan afectar el monitoreo.

Las calificaciones de los supervisores, instrumentistas y operadores deben mantenerse aun si una sola persona es designada para el cumplimiento de más de una de las áreas.

TÍTULO IV **De los Datos, Informes y Aseguramiento de Calidad**

Artículo 16.- Los datos crudos obtenidos de las mediciones tanto de concentraciones ambientales de contaminantes, de variables meteorológicas y de parámetros de operación de los equipos, como de la estación, deben ser almacenados en medios magnéticos sin que exista intervención o manipulación de los datos.

Artículo 17.- Tanto los datos válidos como inválidos deben tener asociada la información de fecha y hora en que fueron medidos, de acuerdo con los formatos establecidos en este reglamento.

El proceso de validación debe realizarse sobre la base de los datos obtenidos de acuerdo a los meses calendario, aplicándose a los datos de concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos y sobre los parámetros meteorológicos. Debe ser realizado por

personal que cumpla con los requerimientos establecidos en el artículo 15 de este reglamento, considerando los siguientes pasos y criterios:

- a) Se debe crear una copia o imagen de la base de datos crudos. La nueva base de datos o imagen se utilizará para el proceso de validación.
- b) Los datos serán validados por el personal especializado. Los datos válidos deberán entregarse a la autoridad sanitaria en conformidad a lo señalado en los artículos 19 y 20 de este reglamento.

En caso de existir datos inválidos o datos perdidos, éstos se deberán informar en una base o planilla diferente a la de los datos válidos, creada para tal efecto, que contenga solamente los códigos de aquellas horas o días en que se produjo la invalidación o pérdida de la información. En ella los datos inválidos o perdidos serán reemplazados por los códigos utilizados en la tabla 2.

Tabla 2

Código	Significado	Justificación
2.a	Dato inválido	Por falla de energía
2.b	Dato inválido	Por falla de equipo
2.c	Dato inválido	Fuera de rango de temperatura de operación
2.d	Dato inválido	Por cambio de equipo
2.e	Dato inválido	Por mantención en terreno
2.f	Dato inválido	Por tiempo mínimo de muestreo
2.g	Dato inválido	Por exceso de tiempo de muestreo
2.h	Dato inválido	Valor fuera de rango
3.a	Sin dato	Por falla general de equipo

- c) Para realizar el proceso de la letra b, se debe tener a la vista la información registrada en la bitácora de la estación de monitoreo, así como también toda la información relativa a las calibraciones realizadas a los equipos o sensores; los datos de los parámetros internos de los equipos monitores y en general cualquier información que permita realizar la validación de los datos en forma correcta.

Artículo 18.- Una vez realizada la validación, los datos obtenidos conformarán la base de datos que será auditada y, si corresponde, aceptada por la autoridad sanitaria, como mediciones representativas sobre las cuales se determinará el grado de cumplimiento de las normas primarias de calidad de aire vigentes. La base de datos antes señalada deberá tener el formato que se establece en los artículos 19 y 20 de este reglamento.

Artículo 19.- La información generada por una estación de monitoreo debe ser entregada a la autoridad sanitaria en medio magnético y con la frecuencia que dicha autoridad determine. El formato electrónico para la entrega de la información deberá ser de texto separado por comas (CSV), o en formato de planilla electrónica.

En caso que la autoridad sanitaria no determine la frecuencia de esta entrega, la información no podrá entregarse después de 40 días consecutivos, transcurridos a partir del último día del mes cuyas concentraciones ambientales se están caracterizando.

Artículo 20.- Los datos que deben entregarse a la autoridad sanitaria deben contener tanto antecedentes generales de la estación como específicos relativos a las variables que se registran, ordenados en la forma en que se detalla a continuación y conforme a la nomenclatura y abreviación que se indica:

1. Nombre de la Estación: Nombre dado por la empresa a la estación de monitoreo.
2. Ubicación: Detallar su ubicación georreferenciada o, a falta de ello, la ubicación determinada por una dirección.
3. Fecha: Todas las concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos, así como las variables meteorológicas y otras de interés, deben ser fechadas utilizando el formato definido en el artículo 2°.
4. Hora: Todas las concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos o parámetros meteorológicos que se expresen como promedio horario, o bien, medidas con una resolución temporal de una hora, deben expresarse de acuerdo al formato de hora y zona horaria definidos en el artículo 2°.
5. Abreviaciones: La base de datos validados debe utilizar las abreviaciones señaladas en la tabla 3, para las variables meteorológicas y concentraciones de contaminantes.

Tabla 3

Variable	Glosa
MP-10	Para concentraciones de material particulado fracción menor o igual a 10 micrómetros de diámetro.
MP-2.5	Para concentraciones de material particulado fracción menor o igual a 2.5 micrómetros de diámetro.
Pb	Para concentraciones de plomo.
CO	Para concentraciones de monóxido de carbono
SO ₂	Para concentraciones de dióxido de azufre
NO ₂	Para concentraciones de dióxido de nitrógeno
O ₃	Para concentraciones de ozono.
Vel	Para velocidad de viento
Dir	Para dirección de viento
Sig	Para sigma theta
Temp	Para temperatura ambiente
HR	Para humedad relativa del aire

6. La información referente a las variables medidas se debe entregar en tablas siguiendo el orden indicado a continuación. Las tablas deben llevar como título el nombre de la estación, la ubicación y el contaminante o variable meteorológica medida. La primera columna debe contener la fecha y hora, ordenadas en forma descendente, y la primera celda de la columna debe tener por título "fecha y hora". La segunda columna debe contener los valores validados de las mediciones del contaminante o del parámetro meteorológico y la primera celda de la segunda columna debe señalar la unidad de medida en que se mide la variable sobre la cual se está informando. Cuando se trate de informar mediciones de material particulado realizadas con métodos gravimétricos, la primera columna debe señalar solamente el día al que corresponde la medición.

Artículo 21.- La capacidad de almacenamiento de datos del o los medios magnéticos utilizados en la estación, debe ser tal que asegure la minimización de pérdida de los mismos. En todo caso, la capacidad de respaldo mínima para datos que no estén en línea debe ser igual o superior a 15 días.

Artículo 22.- La base de datos crudos debe ser mantenida inalterada y almacenada por el titular para efectos de revisiones posteriores.

Artículo 23.- Las mediciones de concentraciones ambientales de material particulado respirable, realizadas con métodos de muestreo oficiales gravimétricos, deben realizarse de acuerdo al manual de procedimientos para la medición de material particulado elaborado por el Ministerio de Salud, que se encuentra a disposición del público a través de la página web institucional y en todas las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud del país. El aseguramiento de calidad de estos datos debe ser el que está descrito en el señalado manual.

TÍTULO V
Responsabilidad, Fiscalización y Controles

Artículo 24.- El propietario de la estación de monitoreo será responsable de la correcta implementación de la misma y de su estado apto para prestar el servicio.

La responsabilidad de la operación de la estación corresponderá a quien preste ese servicio, sea el propietario de ésta por sí, o sea un tercero encargado de su operación.

Artículo 25.- La inspección, fiscalización y sanciones a las infracciones del presente reglamento serán efectuadas en conformidad con las disposiciones del Libro X del Código Sanitario, por las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud en sus respectivas áreas de competencia.

Artículo 26.- El presente reglamento entrará en vigencia en el plazo de ciento ochenta días contados desde la fecha de su publicación.

Anótese, tómese razón y publíquese.- MICHELLE BACHELET JERIA, Presidenta de la República.-
María Soledad Barria Iroume, Ministra de Salud.

Lo que transcribo para su conocimiento.- Saluda atentamente a Ud., Jeanette Vega Morales,
Subsecretaria de Salud Pública.

ANEXO E: Norma de Calidad Primaria para Ozono

ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA OZONO (O3)

Núm. 112.- Santiago, 6 de agosto de 2002.- Vistos: Lo dispuesto en el artículo 19 N° 8 de la Constitución Política; en el artículo 32 de la ley 19.300; el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, aprobado por el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; la resolución N°1.215 de 1978 del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, que establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica; la resolución exenta N° 1.514 de 1999, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); ozono (O3) y dióxido de nitrógeno (NO2); La resolución exenta N° 913 de 2000, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para ozono (O3); el análisis general del impacto económico y social de la norma señalada; las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; el acuerdo N°180 de 3 de mayo de 2001, del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de calidad; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo y lo dispuesto en la resolución N°520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución N° 55 de 1992, de la Contraloría General de la República.

Considerando

Que, de acuerdo con lo preceptuado en la ley 19.300, es deber del Estado dictar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente, de manera de prevenir que estos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y periodos, un riesgo para la salud de las personas.

Que sobre la base de los antecedentes disponibles y que constan en el expediente, se revisó la norma primaria de calidad de aire para ozono (O3), contenida en la resolución 1.215 de 1978, del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, en conformidad al procedimiento y los contenidos establecidos en el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Que el ozono es un fotooxidante que se produce en la tropósfera por efecto de la oxidación de monóxido de carbono e hidrocarburos en presencia de óxidos de nitrógeno y luz solar. De este modo, los hidrocarburos, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno constituyen precursores en la formación de ozono.

Que las características dañinas del ozono en la salud de la población se originan en su gran capacidad oxidante que lo hace reaccionar con toda clase de sustancias orgánicas.

Que el ozono puede penetrar los tejidos de la región pulmonar pero la dosis máxima de contaminante la reciben las regiones bronquiales y alveolares.

Que los efectos típicos del ozono en la salud son cambios en la función pulmonar que van precedidos por irritación de ojos y síntomas del pecho y de las vías respiratorias en poblaciones sensibles.

Que respecto de lo anterior la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que en el caso del ozono, "los problemas de salud de mayor preocupación son: aumento en las admisiones hospitalarias, exacerbación del asma, inflamaciones pulmonares y alteraciones estructurales del pulmón"

Que la OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos señalan que los efectos del ozono sobre la salud de la población se pueden asociar claramente con exposiciones de una duración de 6 a 8 horas y que son estadísticamente significativos.

Que para fijar los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental se tuvo en consideración lo señalado por la OMS en relación a los efectos agudos sustanciales que se producen sobre la población cuando ésta realiza ejercicios con exposiciones de 1 hora a un determinado nivel de concentración, particularmente en individuos susceptibles.

Que el ozono puede presentar efectos adicionales a los de salud tales como efectos sobre la vegetación, los ecosistemas y los materiales expuestos a este contaminante.

TITULO I

Disposiciones Generales y Definiciones

Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos generados por la exposición a niveles de concentración de ozono en el aire.

Artículo 2.- Para efectos de lo dispuesto en la presente norma, se entenderá por:

- a. ppbv: Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón.
- b. Concentración de Ozono: Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o en microgramos por metro cúbico normal (ug/m³N).
La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celsius (25°C).
- c. Concentración de 8-Horas: Promedio aritmético de los valores de concentración de 1 hora de ozono correspondientes a 8 horas sucesivas, promedio móvil.
- d. Año calendario: Periodo que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.
- e. Estación de monitoreo con representatividad poblacional para gas ozono (EMRPG): Una estación de monitoreo que se encuentra localizada en un área habitada.
Se entiende como área habitada, una porción del territorio donde vive habitual y permanentemente un conjunto de personas.
- f. Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o ug/m³N más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_k < X_{n-1} < X_n$
El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q \times n$, donde "q" = 0.99 para el percentil 99, y "n" corresponde al número de datos de una serie. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo

TITULO II

Nivel de Norma de Calidad Primaria para Ozono en Aire

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para ozono como concentración de 8 horas será de 61 ppbv (120 ug/m³N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para ozono como concentración de 8 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comencare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para ozono como concentración de 8 horas, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar el percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 4.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para ozono, en concentración de una hora.

Nivel	1:	204	-	407	ppbv	(400	-	799	ug/m3N)
Nivel	2:	408	-	509	ppbv	(800	-	999	ug/m3N)
Nivel	3:	510	ppbv	o	superior	(1000	ug/m3N	o	superior)

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para ozono podrán ser obtenidos mediante la aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada por el Servicio de Salud respectivo en el marco del plan de prevención o de descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Para los efectos de lo señalado anteriormente, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad de aire a aquella que:

a. Entregue un procedimiento mediante el cual es posible predecir la ocurrencia de alguno de los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para ozono.

b. Entregue el grado de confiabilidad de acuerdo a lo dispuesto en el respectivo plan de prevención o de descontaminación.

c. Considere, además, los siguientes elementos:

- La zona geográfica de aplicación, y
- La evaluación y validación de la metodología de pronóstico.

d. Considere, según corresponda y la situación especial en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:

- Emisiones de precursores de este contaminante,
- Condiciones meteorológicas,
- Condiciones topográficas,
- Procesos de acumulación y remoción de contaminantes.

Para la aprobación de la metodología de pronóstico deberá considerarse como antecedente un informe técnico realizado por expertos nacionales o internacionales sobre la metodología de pronóstico.

La metodología de pronóstico aprobada por el Servicio de Salud mediante resolución fundada, deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial.

Se podrá omitir o dejar sin efecto una declaración de situación de emergencia ambiental si se detectare un cambio en las condiciones meteorológicas en forma posterior a la hora de comunicación del pronóstico o a la constatación de la superación de los niveles de calidad de aire, y siempre que dicho cambio asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad de aire que invalide los resultados entregados por el pronóstico o que asegure la reducción de los niveles de concentración de calidad de aire por debajo de aquellos que originan situaciones de emergencia ambiental.

Artículo 5.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

TITULO III

Metodología de Medición de la Norma

Artículo 6.- La medición de la concentración de ozono en el aire se realizará mediante uno cualquiera de los siguientes métodos de medición:

- a. Quimiluminiscencia con etileno;
- b. Fotometría de absorción ultravioleta;
- c. Cromatografía líquida gas/sólido;
- d. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in situ y,
- e. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados, por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 7.- Para efectos de cumplir con lo establecido en el artículo 11, podrán utilizarse técnicas de medición alternativas a las señaladas en el artículo precedente, las que deberán ser aprobadas por el Servicio de Salud respectivo. Para el monitoreo mediante estas técnicas se deberá tener en consideración lo establecido en la letra (e) del artículo 2 del presente decreto.

TITULO IV

Validación de la Información de Monitoreo de Calidad de Aire

Artículo 8.- Se considerará válida la concentración de 8 horas, si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un periodo de 8 horas se encontraren disponibles.

En el evento de que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 1 hora, la concentración de 8 horas será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 8 horas, si al reemplazar por cero los datos que faltaren para completar el 75% requerido, la concentración de 8 horas fuere mayor o igual al nivel de la norma.

Si se dispusiere de datos de concentración de 1 hora para 6 o 7 horas, la concentración de 8 horas se calculará como el promedio aritmético de los datos de concentración de 1 hora disponibles, utilizando como divisor 6 o 7, según corresponda.

Se considerará válido el percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas registrados durante un año, si, a lo menos, el 75% de los datos de los máximos diarios de concentración de 8 horas para el periodo de un año, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un año (ciclo estacional).

Se considerará válida la concentración máxima diaria de 8 horas, si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 8 horas para un periodo de 24 horas se encontraren disponibles.

En el evento que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 8 horas, la concentración máxima diaria de 8 horas será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 8 horas, si, la concentración máxima diaria de 8 horas fuere mayor o igual al nivel de la norma.

TITULO V

Fiscalización de la Norma

Artículo 9.- Corresponderá a los Servicios de Salud del país y, en la Región Metropolitana al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

TITULO VI

Implementación de la Norma

Artículo 10.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de seis meses, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, determinar mediante resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG.

Artículo 11.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de tres años, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, realizar un diagnóstico de la calidad de aire para ozono según sus competencias territoriales.

Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible así como la que se genere a partir de organismos públicos y privados.

Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de dos años, contados desde que se disponga del diagnóstico, elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma primaria de calidad de aire para ozono.

Dicho programa deberá ser revisado periódicamente en función de los nuevos antecedentes de calidad de aire de que se disponga, los cuales deberán incorporar la información tanto pública como privada.

Artículo 12.- El monitoreo de la calidad de aire según los métodos de medición señalados en los artículos sexto y séptimo del presente decreto, deberá realizarse de acuerdo a las disposiciones establecidas por el Servicio de Salud respectivo, el que deberá considerar, cuando se encuentre disponible, lo que señale el manual de aplicación técnico de la norma.

El manual de aplicación técnico de la norma deberá ser elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 13.- Los Servicios de Salud respectivos deberán tener a disposición de la ciudadanía, los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para ozono correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

TITULO VII

Entrada en Vigencia

Artículo 14.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

La norma primaria de calidad de aire para ozono como concentración de 8 horas y los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental, entrarán en vigencia transcurridos tres años contados desde que entre a regir el presente decreto. Con igual fecha, entrará en vigencia el inciso 4° del artículo 3° del presente decreto.

Anótese, tómese razón y publíquese.- RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- Mario Fernández Baeza, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Osvaldo Artaza Barrios, Ministro de Salud.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda atte. a Ud., Gonzalo Martner Fanta, Subsecretario General de la Presidencia de la República.

ANEXO F: Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre

Diario Oficial de la Republica de Chile
Santiago, jueves 6 de marzo de 2003

MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA

ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE AZUFRE (SO2)

Núm. 113.- Santiago, 6 de agosto de 2002.- Vistos: Lo dispuesto en el artículo 19 N° 8 de la Constitución Política; en el artículo 32 de la ley 19.300; el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, aprobado por el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, que Reglamenta el Funcionamiento de los Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el Territorio de la República; la resolución N°1.215 de 1978 del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, que establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica; la resolución exenta N° 1.514 de 1999, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); ozono (O3) y dióxido de nitrógeno (NO2); la resolución exenta N° 915 de 2000, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); el análisis general del impacto económico y social de la norma señalada; las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; el acuerdo N°180 de 3 de mayo de 2001, del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de calidad; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo y lo dispuesto en la resolución N°520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución N° 55 de 1992, de la Contraloría General de la República.

Considerando:

Que de acuerdo con lo preceptuado en la ley 19.300, es deber del Estado dictar y revisar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente, de manera de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y periodos, un riesgo para la salud de las personas.

Que sobre la base de los antecedentes disponibles y que constan en el expediente público, se revisó la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre (SO2), contenida en la resolución 1.215 de 1978, del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud y en el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, en conformidad al procedimiento y los contenidos establecidos en el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Que el dióxido de azufre es un importante broncoconstrictor, desde los primeros minutos de exposición y su efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación, al respirar aire frío y seco y en personas con hiperreactividad bronquial.

Que la exposición a este contaminante puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas.

Que el dióxido de azufre se origina de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.), de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales.

Que el dióxido de azufre puede presentar efectos adicionales a los de salud tales como efectos sobre la vegetación, ecosistemas y materiales expuestos a este contaminante.

Que el dióxido de azufre es un precursor de aerosoles secundarios.

Que a objeto de estudiar los efectos que se producen en la salud de las personas, se requiere recopilar información sobre la incidencia y prevalencia de asmáticos y los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre en periodos cortos de exposición.

Que la definición de niveles de emergencia ambiental tiene por objetivo proteger a la población en situaciones de excepción, de niveles de concentración que por su magnitud y periodo de exposición pueden producir efectos agudos sobre la población, especialmente la más sensible.

Para el caso de los niveles que definen situaciones de emergencia ambiental y por estar éstos vinculados desde el punto de vista conceptual a efectos agudos, no se establecen niveles de emergencia ambiental como concentración anual.

Que en nuestro país, las situaciones de emergencia ambiental están asociadas a niveles de exposición como concentración de 1 hora y se verifican principalmente en áreas circundantes a grandes megafuentes emisoras de SO₂. En algunas de estas áreas se han registrado altos niveles de concentración de SO₂ en el aire, debido a la magnitud de las emisiones de estas megafuentes.

Que los niveles y periodo de exposición establecidos son los que hoy en día se encuentran vigentes en el marco del DS N°185 de 1991, del Ministerio de Minería. Para estos niveles, y en las áreas mencionadas, existen en aplicación planes operacionales para el control de los episodios críticos, en el contexto de planes de descontaminación vigentes.

D e c r e t o :

T I T U L O I Disposiciones

Generales y Definiciones

Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire.

Artículo 2.- Para efectos de lo dispuesto en la presente norma, se entenderá por:

- a. ppbv:** Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón.
- b. Concentración de Dióxido de Azufre:** Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o en microgramos por metro cúbico normal (ug/m³N).

La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celsius (25°C).

- c. Concentración de 1 hora:** Promedio aritmético de los valores de concentración de dióxido de azufre medidos en una 1 hora.
- d. Concentración de 24 horas:** Promedio aritmético de los valores de concentración de 1 hora de dióxido de azufre correspondientes a un bloque de 24 horas sucesivas, contadas desde las cero horas de cada día.
- e. Concentración trimestral:** Promedio aritmético de los valores de concentración de 24 horas de dióxido de azufre correspondientes a un periodo de tres meses sucesivos.
- f. Concentración anual:** Promedio aritmético de los valores de concentración trimestral de dióxido de azufre correspondientes a un año.
- g. Año calendario:** Período que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.
- h. Estación monitorea con representatividad poblacional para gas dióxido de azufre (EMRPG):** Una estación de monitoreo que se encuentra localizada en un área habitada.

Se entiende como área habitada, una porción del territorio donde vive habitual y permanentemente un conjunto de personas.

i. Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o ug/m³N más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_k < X_{n-1} < X_n$$

El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q \times n$, donde "q" = 0.99 para el percentil 99, y "n" corresponde al número de datos de una serie. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo.

T I T U L O I I

Nivel de Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre en Aire

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 31 ppbv (80 ug/m³N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años

calendarios sucesivos, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar la concentración anual para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 4.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 96 ppbv (250 ug/m³N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 5.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración de una hora:

Nivel 1: 750 - 999 ppbv	(1.962 - 2.615 ug/m3N)
Nivel 2: 1.000 - 1.499 ppbv	(2.616 - 3.923 ug/m3N)
Nivel 3: 1.500 ppbv o superior	(3.924 ug/m3N o superior)

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre podrán ser obtenidos mediante la aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada por el Servicio de Salud respectivo en el marco del plan de prevención o de descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Para los efectos de lo señalado anteriormente, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad de aire a aquella que:

a. Entregue un procedimiento mediante el cual es posible predecir la ocurrencia de alguno de los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre.

b. Entregue el grado de confiabilidad de acuerdo a lo dispuesto en el respectivo plan de prevención o de descontaminación.

c. Considere, además, los siguientes elementos:

- La zona geográfica de aplicación, y
- La evaluación y validación de la metodología de pronóstico.

d. Considere, según corresponda y la situación especial en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:

- Emisiones de dióxido de azufre,
- Condiciones meteorológicas,
- Condiciones topográficas,
- Procesos de acumulación y remoción de contaminantes

Para la aprobación de la metodología de pronóstico deberá considerarse como antecedente un informe técnico realizado por expertos nacionales o internacionales sobre la metodología de pronóstico.

La metodología de pronóstico aprobada por el Servicio de Salud mediante resolución fundada, deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial.

Se podrá omitir o dejar sin efecto una declaración de situación de emergencia ambiental si se detectare un cambio en las condiciones meteorológicas en forma posterior a la hora de comunicación del pronóstico o a la constatación de la superación de los niveles de calidad de aire, y siempre que dicho cambio asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad de aire que invalide los resultados entregados por el pronóstico o

que asegure la reducción de los niveles de concentración de calidad de aire por debajo de aquellos que originan situaciones de emergencia ambiental.

Artículo 6.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los valores que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

Cuando el dióxido de azufre fuese precursor de otro contaminante normado, los planes de descontaminación o prevención que se establezcan para el control de este contaminante, podrán incluir medidas de reducción de emisiones del contaminante dióxido de azufre, independientemente del cumplimiento de las normas de calidad de aire que esta norma establece.

T I T U L O I I I

Metodología de Medición de la Norma

Artículo 8.- La medición de la concentración de dióxido de azufre en el aire se realizará mediante uno cualesquiera de los siguientes métodos de medición:

- a. Fluorescencia ultravioleta;
- b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ y,
- c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 9.- Para efectos de cumplir con lo establecido en el artículo 13, podrán utilizarse técnicas de medición alternativas a las señaladas en el artículo precedente, las que deberán ser aprobadas por el Servicio de Salud respectivo. Para el monitoreo mediante estas técnicas se deberá considerar lo establecido en la letra (h) del artículo 2 del presente decreto.

T I T U L O I V

Validación de la Información de Monitoreo de Calidad de Aire

Artículo 10.- Se considerará válida la concentración anual si, para cada uno de los trimestres de un año, se dispusiere de a lo menos un 75% de los datos de concentración de 24 horas para ese periodo.

Se considerará válido el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas en un año si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 24 horas para el periodo de un año, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un año (ciclo estacional).

Se considerará válida la concentración de 24 horas si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un periodo de 24 horas, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un día (ciclo diario).

En el evento de que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 1 hora, la concentración de 24 horas será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 24 horas, si, al reemplazar por cero los datos que faltaren para completar el 75% requerido, la concentración de 24 horas fuere mayor o igual al valor de la norma.

Si se dispusiere de datos de concentración de 1 hora para 18, 19, 20, 21, 22 o 23 horas, la concentración de 24 horas se calculará como el promedio aritmético de los datos de concentración de 1 hora disponibles, utilizando como divisor 18, 19, 20, 21, 22 o 23, según corresponda.

Se considerará válida la concentración de 1 hora si, a lo menos, se dispusiere de 30 minutos sucesivos de medición.

T I T U L O V

Fiscalización de la Norma

Artículo 11.- Corresponderá a los Servicios de Salud del país, y en la Región

Metropolitana al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

T I T U L O V I

Implementación de la Norma

Artículo 12.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de seis meses, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, determinar mediante resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG.

Artículo 13.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de tres años, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, realizar un diagnóstico de la calidad de aire para dióxido de azufre según sus competencias territoriales.

Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible así como la que se genere a partir de organismos públicos y privados.

Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de dos años, contados desde que se disponga del diagnóstico, elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre.

Dicho programa deberá ser revisado periódicamente en función de los nuevos antecedentes de calidad de aire de que se disponga, los cuales deberán incorporar la información tanto pública como privada.

Artículo 14.- El monitoreo de la calidad de aire, según los métodos de medición señalados en los artículos octavo y noveno del presente decreto, deberá realizarse de acuerdo a las disposiciones establecidas por el Servicio de Salud respectivo, el que deberá considerar, cuando se encuentre disponible, lo que señale el manual de aplicación técnico de la norma.

El manual de aplicación técnico de la norma deberá ser elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 15.- Los Servicios de Salud respectivos deberán tener a disposición de la ciudadanía los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

T I T U L O V I I

Generación de Antecedentes para la Regulación de Efectos Agudos

Artículo 16.- Los Servicios de Salud respectivos, en especial en aquellas localidades en las que existe población expuesta a altos niveles de concentración de dióxido de azufre en periodos cortos de exposición, deberán recopilar la siguiente información:

- Niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 5 minutos y una hora, a partir del monitoreo de la calidad de aire de dióxido de azufre.
- Incidencia y prevalencia de asma en la población.

T I T U L O V I I I

Entrada en Vigencia

Artículo 17.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual y de 24 horas, así como los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental, entrarán en vigencia transcurridos tres años contados desde que entre a regir el presente decreto. Con igual fecha, entrarán en vigencia los incisos cuartos de los artículos tercero y cuarto del presente decreto.

Anótese, tómese razón y publíquese.- RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- Mario Fernández Baeza, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Osvaldo Artaza Barrios, Ministro de Salud.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda atte. a Ud., Gonzalo Martner

Fanta, Subsecretario General de la Presidencia de la República.

ANEXO G: Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Nitrógeno

NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE NITROGENO (NO₂). D.S. N°114 de 6 de agosto de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (DO 6.03.2003).

ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE NITROGENO (NO₂)

Núm. 114.- Santiago, 6 de agosto de 2002.- VISTOS: Lo dispuesto en el artículo 19 N° 8 de la Constitución Política; En el artículo 32 de la Ley 19.300; El Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, aprobado por el Decreto Supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; La Resolución N°1215 de 1978 del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, que establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica; La Resolución Exenta N° 1514 de 1999, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO₂); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); ozono (O₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂); La Resolución Exenta N° 914 del 2000, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO₂); El análisis general del impacto económico y social de la norma señalada; Las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; El acuerdo N°180 de 3 de mayo de 2001, del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de calidad; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo y lo dispuesto en la Resolución N°520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Resolución N° 55 de 1992, de la Contraloría General de la República.

CONSIDERANDO:

Que de acuerdo con lo preceptuado en la ley 19.300, es deber del Estado dictar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente, de manera de prevenir que estos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y periodos, un riesgo para la salud de las personas.

Que sobre la base de los antecedentes disponibles y que constan en el expediente público, se revisó la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno contenida en la Resolución 1215 de 1978, del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, en conformidad al procedimiento y los contenidos establecidos en el Decreto Supremo N°93 de 1995, de Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Que la Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que la exposición a este contaminante puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas. En el caso de los efectos agudos, se ha reportado un amplio rango de efectos sobre la población asmática, la que probablemente constituye la población mas sensible.

Que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) reporta que la exposición a dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias, particularmente en individuos con enfermedades respiratorias pre-existentes, tales como asma.

Que el dióxido de nitrógeno (NO₂) es producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas. En el proceso de combustión, el nitrógeno se oxida para formar principalmente monóxido de nitrógeno (NO) y en menor proporción dióxido de nitrógeno. El NO se transforma en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas.

Que el dióxido de nitrógeno puede combinarse con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar ozono, así como con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP10 y MP2,5.

Para el caso de los niveles que definen situaciones de emergencia ambiental y por estar estos vinculados desde el punto de vista conceptual a efectos agudos, no se establecen niveles de emergencia ambiental como concentración anual.

DECRETO

TITULO I

Disposiciones Generales y Definiciones

Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de nitrógeno en el aire.

Artículo 2.- Para efectos de lo dispuesto en la presente norma, se entenderá por:

- a. *ppbv*: Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón.
- b. *Concentración de Dióxido de Nitrógeno*: Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o microgramos por metro cúbico normal (ug/m3N).

La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celcius (25°C).

- c. *Concentración de 1 hora*: Promedio aritmético de los valores de concentración de dióxido de nitrógeno medidos en 1 hora.
- d. *Concentración de 24 horas*: Promedio aritmético de los valores de concentración de 1 hora de dióxido de nitrógeno correspondientes a un bloque de 24 horas sucesivas, contadas desde las cero horas de cada día.
- e. *Concentración trimestral*: Promedio aritmético de los valores de concentración de 24 horas de dióxido de nitrógeno correspondientes a un periodo de tres meses consecutivos.
- f. *Concentración anual*: Promedio aritmético de los valores de concentración trimestral de dióxido de nitrógeno correspondientes a un año calendario.
- g. *Año calendario*: Período que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.
- h. *Estación de monitoreo con representatividad poblacional para gas dióxido de nitrógeno (EMRPG)*: Una estación de monitoreo que se encuentra localizada en un área habitada.

Se entiende como área habitada, una porción del territorio donde vive habitual y permanentemente un conjunto de personas.

- i. *Percentil*: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o ug/m3N más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 \leq X_2 \leq X_3 \dots \leq X_k \leq X_{n-1} \leq X_n$$

El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q \times n$, donde "q" = 0.99 para el Percentil 99, y "n" corresponde a un número de datos de una serie. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo

TITULO II

Nivel de Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Nitrógeno en Aire

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración anual será de 53 ppbv (100 ug/m3N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración anual, cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos, en cualquier estación monitorea EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración anual, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar la concentración anual para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 4.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración de 1 hora será de 213 ppbv (400 ug/m3N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1 de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios consecutivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración de 1 hora, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar el percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 5.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de nitrógeno en concentración de una hora:

Nivel 1: 601-1201 ppbv	(1130 - 2259 ug/m3N)
Nivel 2: 1202 - 1595 ppbv	(2260 - 2999 ug/m3N)
Nivel 3: 1596 ppbv o superior	(3000 ug/m3N o superior)

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de nitrógeno podrán ser obtenidos mediante la aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada por el Servicio de Salud respectivo en el marco del plan de prevención o de descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Para los efectos de lo señalado anteriormente, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad de aire a aquella que:

- a. Entregue un procedimiento mediante el cual es posible predecir la ocurrencia de alguno de los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de nitrógeno.
- b. Entregue el grado de confiabilidad de acuerdo a lo dispuesto en el respectivo plan de prevención o de descontaminación.
- c. Considere, además, los siguientes elementos:
 - La zona geográfica de aplicación, y
 - La evaluación y validación de la metodología de pronóstico.
- d. Considere, según corresponda y la situación especial en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:
 - Emisiones de dióxido de nitrógeno,
 - Condiciones meteorológicas,
 - Condiciones topográficas,
 - Procesos de acumulación y remoción de contaminantes

Para la aprobación de la metodología de pronóstico deberá considerarse como antecedente un informe técnico realizado por expertos nacionales o internacionales sobre la metodología de pronóstico.

La metodología de pronóstico aprobada por el Servicio de Salud mediante resolución fundada, deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial.

Se podrá omitir o dejar sin efecto una declaración de situación de emergencia ambiental si se detectare un cambio en las condiciones meteorológicas en forma posterior a la hora de comunicación del pronóstico o a la constatación de la superación de los niveles de calidad de aire, y siempre que dicho cambio asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad de aire que invalide los resultados entregados por el pronóstico o que asegure la reducción de los niveles de concentración de calidad de aire por debajo de aquellos que originan situaciones de emergencia ambiental.

Artículo 6.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

Artículo 7.- Cuando el dióxido de nitrógeno fuese precursor de otro contaminante normado, los planes de descontaminación o prevención que se establezcan para el control de este contaminante, podrán incluir medidas de reducción de emisiones del contaminante dióxido de nitrógeno, independientemente del cumplimiento de las normas de calidad de aire que esta norma establece.

TITULO III

Metodología de Medición de la Norma

Artículo 8.- La medición de la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire se realizará mediante uno cualesquiera de los siguientes métodos de medición:

- a. Quimiluminiscencia;
 - b. Los que se basen en el método modificado de Griess-Saltzman;
 - c. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in-situ
- Y,
- d. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 9.- Para efectos de cumplir con lo establecido el artículo 13 podrán utilizarse técnicas de medición alternativas a las señaladas en el artículo precedente, las que deberán ser aprobadas por el Servicio de Salud respectivo. Para el monitoreo mediante estas técnicas se deberá tener en consideración lo establecido en la letra (h) del artículo 2 del presente decreto.

TITULO IV

Validación de la Información de Monitoreo de Calidad de Aire

Artículo 10.- Se considerará válida la concentración anual, si para cada uno de los trimestres de un año, se dispusiere de a lo menos un 75% de los datos de concentración de 24 horas para ese periodo.

Se considerará válida la concentración de 24 horas, si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un periodo de 24 horas, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un día (ciclo diario).

Si se dispusiere de datos de concentración de 1 hora para 18, 19, 20, 21, 22 o 23 horas, la concentración de 24 horas se calculará como el promedio aritmético de los datos de concentración de 1 hora disponibles, utilizando como divisor 18, 19, 20, 21, 22 o 23, según corresponda.

Se considerará válida la concentración de una hora, si, a lo menos, se dispusiere de 30 minutos seguidos de medición.

Se considerará válido el percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año, si, a lo menos, el 75% de los datos de máximos diarios de concentración de 1 hora para el periodo de un año, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un año (ciclo estacional).

Se considerará válida la concentración máxima diaria de 1 hora, si, a lo menos el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un periodo de 24 horas se encontraren disponibles.

En el evento que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 1 hora, la concentración máxima diaria de 1 hora será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 1 hora, si, la concentración máxima diaria de 1 hora fuere mayor o igual al nivel de la norma.

TITULO V Fiscalización de

la Norma

Artículo 11.- Corresponderá a los Servicios de Salud del país y, en la Región Metropolitana al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

TITULO VI. Implementación

de la Norma

Artículo 12.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de seis meses, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial determinar mediante resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG.

Artículo 13.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de tres años, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, realizar un diagnóstico de la calidad de aire para dióxido de nitrógeno según sus competencias territoriales.

Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible así como la que se genere a partir de organismos públicos y privados.

Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de dos años, contados desde que se disponga del diagnóstico, elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno.

Dicho programa deberá ser revisado periódicamente en función de los nuevos antecedentes de calidad de aire de que se disponga, los cuales deberán incorporar la información tanto pública como privada.

Artículo 14.- El monitoreo de la calidad de aire según los métodos de medición señalados en los artículos octavo y noveno del presente decreto, deberá realizarse de acuerdo a las disposiciones establecidas por el Servicio de Salud respectivo, el que deberá considerar, cuando se encuentre disponible, lo que señale el manual de aplicación técnico de la norma.

El manual de aplicación técnico de la norma deberá ser elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 15.- Los Servicios de Salud respectivos deberán tener a disposición de la ciudadanía, los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de nitrógeno correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

TITULO VII Entrada

en Vigencia

Artículo 16.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

La norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración anual y de 1 hora, así como los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental, entrarán en vigencia transcurridos tres años contados desde que entre a regir el presente decreto. Con igual fecha, entrarán en vigencia los incisos cuartos de los artículos tercero y cuarto del presente decreto.

ANÓTESE, TÓMESE RAZÓN Y PUBLÍQUESE. RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- MARIO FERNÁNDEZ BAEZA, Ministro Secretario General de la Presidencia.- OSVALDO ARTAZA BARRIOS, Ministro de Salud.