



UNIVERSIDAD DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y POSTÍTULO  
Programa Interfacultades  
Magíster en Gestión y Planificación Ambiental

## APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: ANÁLISIS DEL PROCESO

Tesis para optar al Grado de Magíster en  
Gestión y Planificación Ambiental.

### **CRISTIAN BUSTOS SALAS**

Dirección: Roberto Espinoza N°943 Dpto. 402  
Correo electrónico: [sgamsc@yahoo.com](mailto:sgamsc@yahoo.com)  
Teléfono: 368 3835 (of.) – 672 6272 - 09-438 5518

Directora de Tesis:

### **LAURA GALLARDO KLENNER**

Dirección: Blanco Encalada N°2120 Piso 6 Of. 604.  
Correo electrónico: [lgallard@dim.uchile.cl](mailto:lgallard@dim.uchile.cl)  
Teléfono: 678 4882

---

**Santiago, Chile  
2004**

***Dedicatoria:***

*A Isolina y Basthian*

*Ved, pues, cómo la predicción  
importante no es la acción, sino  
la reacción.*

**Isaac Asimov**

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Dra. Laura Gallardo Klenner por su confianza y generosidad al compartir sus conocimientos, su apoyo y disposición a escucharme durante el desarrollo de esta tesis y por permitirme participar en su curso “Modelación atmosférica con orientación a la dispersión de contaminantes”. Del mismo modo manifestar mi admiración por la profundidad y seriedad de su trabajo.

Agradezco a los profesores del programa de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental (MGPA) y a la Comisión de Evaluación sin cuyas diferentes visiones mi proceso de aprendizaje y el presente trabajo no habrían alcanzado el nivel logrado.

Agradezco también al Departamento de Postgrado y Postítulo de la Universidad de Chile por el financiamiento parcial de este trabajo.

Un especial agradecimiento a la Srta. Alexia Pereira del programa MGPA, Marcela Lagos y Marcia Calfucoy de la Vice Rectoría de Asuntos Académicos de la Universidad de Chile.

Gracias a Gladys, Raúl, Cecilia, Andrés, Ignacio, Oriana y Alfredo, por su cariño, apoyo y comprensión.

A mis amigos y compañeros del MGPA por los momentos que compartimos, gracias.

Sinceramente, Cristian Bustos S.

## **RESUMEN**

La presente investigación da cuenta del uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos (MDCA) en la evaluación de proyectos sometidos en Chile al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) entre los años 1997 y 2001. Esto se realiza mediante la revisión sistemática de dichas aplicaciones, así como a través de entrevistas a profesionales involucrados, tanto ejecutores como evaluadores.

El examen exhaustivo de una muestra representativa de nueve proyectos sometidos al SEIA, que incluye a centrales termoeléctricas, refinerías de petróleo, proyectos mineros, incineradores, gasoductos y rellenos sanitarios, y entrevistas a profesionales, indican que el uso de MDCA se ha llevado a cabo, en general, sin una aproximación metodológica adecuada. Es así que las aplicaciones no consideraron adecuadamente elementos tales como: estudiar y definir el problema, construir o seleccionar el modelo apropiado, especificar los valores de las variables y los parámetros, evaluar y validar los resultados. Esto está interfiriendo en las evaluaciones de impacto ambiental, demandando mayor tiempo a las revisiones y dificultando que se conozcan los impactos ambientales reales de los proyectos, entre otros problemas.

Estos resultados sugieren la necesidad de intervenir en el funcionamiento del SEIA para asegurar que los MDCA se utilicen de acuerdo a lo exigido en la Ley, es decir, que su uso sea justificado y se apliquen correctamente. Esto requiere, por una parte, implementar y mantener procesos que desarrollen el conocimiento y competencia en evaluadores, analistas y tomadores de decisiones acerca del estado del arte en cuanto a la MDCA. Por otra parte, es necesario dotar al SEIA de herramientas para asegurar la calidad de las aplicaciones de MDCA, transparentar el mercado de la consultoría ambiental y, posiblemente, asignar responsabilidades legales para quienes participan en la preparación de Estudios de Impacto Ambiental.

**Palabras Clave:** Contaminación atmosférica, dispersión atmosférica, modelos gaussianos, evaluación de impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

This thesis shows as atmospheric dispersion models (ATDM) are used within the framework of the Chilean Environmental Impact Assessment System (SEIA) as tools for assessing projects submitted to it for the period 1997-2001. This is a systematic review of Environmental Impact Assessments and interviews to professionals involved at different stages of the evaluation process. Samples of nine (9) representative environmental assessments submitted to SEIA were exhaustively reviewed. The sample includes power plants, mining projects, petroleum refineries, incinerators and landfills. These reviews and interviews indicate that ATDM were not used an appropriately methodological approach. The applications of ATDM did not consider elements such as: suitable definition of the problem, building or selection of the adequate tool, specification of input values and parameters, evaluation and validation of results. These shortcomings are hampering the environmental impact assessment system, taking the review process longer time than necessary and making it difficult to assess the actual environmental impacts of the projects.

These results suggest the need to intervene in the SEIA operation in order to ensure that the ATDM are correctly applied according the letter and the spirit of the law, i.e., the use of ATDM must be justified and correctly applied. This requires, on the one hand, of the implementation of a continuous capability building process to develop and keep up competence and expertise among evaluators and stake holders in these matters. On the other hand, it is necessary to provide the SEIA with tools to enforce quality assurance within the application of MDCA, and to make the environmental consultancy market transparent, considering even the assignment of legal responsibilities to those who participate in the formulation of environmental impact assessments.

**Key Words:** air pollution, atmospheric dispersion, gaussian models, environmental impact assessment.

## Abreviaturas y Siglas

<b>CONAMA</b>	Comisión Nacional del Medio Ambiente – Chile
<b>CNEAA</b>	Comisión Nacional de Energía Atómica – Argentina
<b>DIA</b>	Declaración de Impacto Ambiental
<b>EEUU</b>	Estados Unidos de Norteamérica
<b>EIA</b>	Estudio de Impacto Ambiental
<b>EEA</b>	Agencia Ambiental Europea
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
<b>LBGMA</b>	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente – Ley 19.300.
<b>MDCA</b>	Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos
<b>MDCAG</b>	Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Gaussiano
<b>PPDA RM</b>	Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana
<b>SEIA</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
<b>US EPA</b>	Agencia Ambiental de los Estados Unidos de Norte América
<b>WBG</b>	Grupo del Banco Mundial
<b>WMO</b>	Organización Meteorológica Mundial

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>11</b>
1.1	EL PROBLEMA .....	11
1.2	MARCO TEÓRICO.....	12
1.2.1	<i>Trazas atmosféricas y contaminantes criterio.....</i>	<i>12</i>
1.2.2	<i>La modelación.....</i>	<i>15</i>
1.2.3	<i>Modelación atmosférica .....</i>	<i>21</i>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>38</b>
2.1	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
2.1.1	<i>Objetivo General .....</i>	<i>38</i>
2.1.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>38</i>
2.2	SUPUESTOS DE LA INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS.....	38
2.2.1	<i>Supuestos de la investigación.....</i>	<i>38</i>
2.2.2	<i>Hipótesis .....</i>	<i>40</i>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
4.1	RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	45
4.2	RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS .....	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
6.1	RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA GESTIÓN. ....	67
6.2	RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS APLICACIONES DE MODELOS EN EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL. ....	68
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CITADA.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO A. ALGUNOS MODELOS DE DISPERSION DISPONIBLES....</b>	<b>79</b>



<b>9 ANEXO B. FORMULARIO PARA LA REVISIÓN DEL USO DE MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EIA'S .....</b>	<b>84</b>
<b>10 ANEXO C. PAUTA PARA ENTREVISTAS A PROFESIONALES QUE UTILIZAN MDCA.....</b>	<b>87</b>

#### INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos. ....	14
Figura 1-2 Concepto de modelación simple.....	16
Figura 1-3 Principales fases de la modelación.....	19
Figura 1-4 Principales procesos representados en los modelos.....	21
Figura 1-5 Conexión entre los diversos módulos de un modelo de dispersión y su integración al proceso de toma de decisiones. ....	23
Figura 1-6 Elevación del perfil de concentración de un penacho Gaussiano.....	25
Figura 1-7 Curva de distribución normal (Gaussiana).....	26
Figura 1-8 Desarrollo de series de tiempo de un penacho. ....	27
Figura 1-9 (a) Vista instantánea de un penacho, (b) perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento abajo de la fuente; (c) promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo. ....	29
Figura 4-1 Número de proyectos sometidos al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental según tipo de Proyecto entre los años 1997 y 2001.....	47
Figura 4-2 Número de proyectos sometidos al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental según tipo de Proyecto entre los años 2002 y noviembre de 2003.....	47
Figura 4-3 Relación entre los entrevistados y los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. ....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Normas Primarias de Calidad del Aire vigentes en Chile.....	15
Tabla 1-2 Pasos para el desarrollo y aplicación de modelos de simulación .....	18
Tabla 3-1 Variables utilizadas para describir el tratamiento de las etapas previas y posteriores a la aplicación de un modelo .....	44
Tabla 4-1 Tipos de proyectos de inversión analizados .....	46
Tabla 4-2 Tipos de proyectos de inversión analizados que utilizaron MDCA. ...	49
Tabla 4-3 Tratamiento de etapas previas y posteriores en la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en EIA's en Chile entre 1997 y 2001. ....	57

# CAPITULO I

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 *El Problema*

El presente estudio tiene por objeto investigar descriptivamente el uso de modelos de dispersión atmosférica simples de tipo gaussiano para determinar el impacto de uno o varios contaminantes atmosféricos en los alrededores de su fuente de emisión, en el contexto de las evaluaciones ambientales realizadas en Chile entre los años 1997 y 2001, permitiendo con ello recopilar antecedentes fundados e identificar oportunidades de mejorar el uso y evaluación de modelos.

La década de los años 90 estuvo marcada por la entrada en vigencia en Chile de la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente. De acuerdo a esta Ley y al Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental<sup>a</sup>, la predicción y evaluación de los impactos ambientales de proyectos de inversión cuyas características exigen realizar y contar con la aprobación de un Estudio de Impacto Ambiental, se debe efectuar a base de modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos. Con ello, se generó en Chile, formalmente, la necesidad de contar con herramientas de evaluación, incluyendo modelos y un aparato para la gestión de estas evaluaciones.

En la segunda mitad del año 2003, el Gobierno de Chile inició un debate en torno a la necesidad de actualizar y mejorar la Política Ambiental del país, la Ley de Bases del Medio Ambiente y su Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En relación al Sistema de Evaluación de Impacto ambiental, el Gobierno propuso incorporar cambios que permitan perfeccionar y no

---

<sup>a</sup> Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental", (Chile-MINSEGPRESS, 1997). Modificado por el D.S. 95/01 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia en el sentido de acotar la evaluación del proyecto a las fases de construcción, operación y cierre o abandono, si las hubiere.

menoscabar o debilitar el instrumento, simplificar el procedimiento y mejorar su eficacia y corregir desviaciones, vacíos o imperfecciones de la normativa vigente (CONAMA, 2003a).

Un elemento que sin lugar a dudas puede menoscabar, debilitar y disminuir la eficacia del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental es la existencia de problemas de calidad en los Estudios de Impacto Ambiental y su proceso de evaluación. Tanto más cuando algunas de las asociaciones industriales ya han expresado su preocupación por la mala calidad de algunos de los Estudios de Impacto Ambiental que fueron presentados (CPCC, 2003) y la existencia de antecedentes que señalan que con frecuencia se ha dado un uso e interpretación inapropiados a los modelos de dispersión (Gallardo, 1997).

En este trabajo se aborda el problema aludido a través de la revisión sistemática de estudios de impacto ambiental y entrevistas a profesionales involucrados en éstos y se proponen medidas para resolverlos.

## **1.2 Marco Teórico**

### **1.2.1 Trazas atmosféricas y contaminantes criterio**

La palabra atmósfera se origina en los vocablos griegos “*atmos*” que significa vapor y “*sphaira*” que corresponde a esfera. Es decir, se refiere al envoltorio, mayoritariamente gaseoso, que rodea a nuestro planeta. Este envoltorio tiene un espesor de no más de 1.5% de los aproximadamente 6200 Km del radio de la tierra. Nuestra atmósfera tiene una masa de alrededor de  $5 \times 10^{21}$  g y está constituida principalmente por nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y oxígeno molecular ( $O_2$ ) en proporciones de alrededor de 78% y 21% en volumen, respectivamente (Seinfeld y Pandis, 1998). El resto está formado por argón (Ar), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y otras especies en variados estados de agregación que, por sus ínfimas cantidades se denominan trazas atmosféricas. Son estas trazas atmosféricas, junto al  $O_2$  y al relativamente abundante  $CO_2$ , las que definen las propiedades químicas y radiativas de nuestra atmósfera y las que

interconectan los sistemas bióticos y abióticos estableciendo las condiciones para la vida (Gallardo, 2003). Esta fracción de la composición de la atmósfera se ha visto fuerte y rápidamente alterada por las actividades humanas en los últimos dos siglos, teniendo ello consecuencias sobre la calidad de vida de las personas, los ecosistemas en general y el sistema climático en su conjunto (IPCC, 2001; Brasseur et al, 2003).

En las últimas dos décadas, la habilidad para medir trazas atmosféricas ha experimentado un gran desarrollo, lo cual hace posible cuantificar abundancias inferiores a 1 molécula por cada  $10^{12}$  moléculas de aire, utilizando instrumentos *in situ* o remotos en condiciones semiautomáticas (Tyndall et al, 2003).

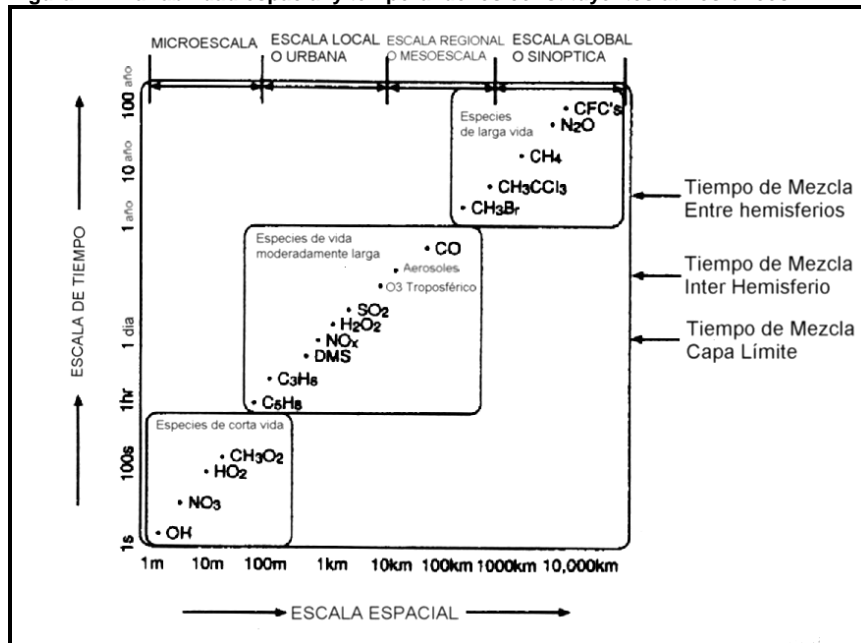
En general, las trazas presentes en la atmósfera en concentraciones que varían en el tiempo y el espacio tienen vidas medias cortas. Por el contrario aquellas de vidas medias largas se mezclan homogéneamente en toda la atmósfera (Rodhe, 1992). En la Figura 1-1 se muestran las escalas de tiempo y espacio características para distintas trazas atmosféricas. De esta forma, las concentraciones de oxígeno molecular ( $O_2$ ) que tiene un tiempo de recambio de varios millones de años varían muy poco de un lugar a otro, comparadas con las del amoníaco ( $NH_3$ ) que tiene un tiempo de recambio de unos pocos días, cuyas concentraciones varían mucho de lugar en lugar.

Las trazas atmosféricas actúan e interactúan en un sinnúmero de procesos, tales como la formación de material particulado sobre el cual condensa el agua y se forman las nubes hasta la irritación de las vías respiratorias humanas o la clorosis de especies vegetales, entre muchas otras.

El aumento de la concentración en la tropósfera de algunas trazas atmosféricas en algunas localidades y regiones del planeta, especialmente en las áreas urbanas y los efectos en la salud de la población que se ve expuesta a ellas y otros efectos sobre el medio ambiente, han llevado a los gobiernos a regular algunas trazas atmosféricas. Se suele denominar “contaminantes criterio”, al conjunto de trazas constituido por dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido

de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y los aerosoles (Seinfeld y Pandis, 1998). Es importante considerar que estos no son los únicos contaminantes, pero sí son aquellos a los que internacionalmente la gestión ambiental ha dado mayor atención, regulando las concentraciones máximas permisibles en la atmósfera para cada uno de ellos. En la Tabla 1-1 se presentan los contaminantes criterio para los cuales existen Normas Primarias de Calidad del Aire en Chile y la máxima concentración permitida para estos<sup>b</sup>.

**Figura 1-1 Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos.**



Fuente: Traducido y adaptado de Brasseur et al. 1999.

<sup>b</sup> En ausencia de una norma de calidad o emisión en Chile, el Reglamento del SEIA establece que la evaluación de los impactos se debe realizar utilizando como referencia la norma de alguno de los siguientes estados: República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Confederación de Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de Norteamérica, Nueva Zelanda, Reino de los Países Bajos, República de Italia, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza.

**Tabla 1-1 Normas Primarias de Calidad del Aire vigentes en Chile.**

CONTAMINANTE	NORMA	UNIDAD	TIPO DE NORMA	EXCEDENCIA
Material Particulado Respirable (MP10)	50	ug/m3	Media Aritmética Anual	No se permite
	150	ug/m3	Media Aritmética Diaria	Percentil 98
Dióxido de azufre (SO2)	80	ug/m3	Media Aritmética Anual	No se permite
	250	ug/m3	Media Aritmética Diaria	Percentil 99
Oxidantes Fotoquímicos: Ozono (O3)	120	ug/m3	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas	Percentil 99
Monóxido de Carbono (CO)	10.000	ug/m3	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas	Percentil 99
	30.000	ug/m3	Media Aritmética Horaria	Percentil 99
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	100	ug/m3	Media Aritmética Anual	No se permite
	400	ug/m3	Media Aritmética Horaria	Percentil 99
Plomo	0,5	ug/m3	Media Aritmética Anual	No se permite

Fuente: Elaboración propia a partir de CONAMA, 2004.

### 1.2.2 La modelación

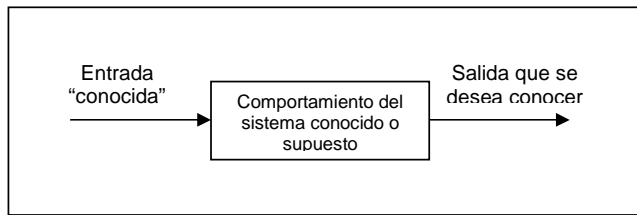
En las últimas décadas, la modelación se convirtió en una herramienta habitual de diversas disciplinas que buscan explicar o reproducir sus respectivas observaciones. Es así como Higashi y Burns (1991) señalan: “La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones”.

En el sector manufacturero, por ejemplo, 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 mucho más (Chase et al, 2000). En el sector de los servicios se utiliza ampliamente para analizar las líneas de espera y las operaciones de programación. La modelación de procesos ambientales y del transporte de contaminantes se convirtió también en una labor habitual de los científicos e ingenieros modernos (e.g., Kiely, 1999; Granier, 2003). La variedad de problemas ambientales que se pueden abordar mediante modelos es enorme. Existen modelos diseñados o paquetes de programas para casi cada tarea que se pueda plantear, ya sea el tratamiento de aguas residuales, la optimización de las rutas para los camiones municipales de transporte de residuos sólidos, la identificación de una localización óptima para el vertido de

aguas residuales (con objeto de maximizar la mezcla y dilución) o por supuesto el modelamiento de la calidad del aire.

Como se muestra esquemáticamente en la Figura 1-2, la modelación permite determinar los resultados o predecir lo que podría ocurrir a un sistema a partir de un conjunto de datos de entrada. 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 básicas, etc. Mientras que los resultados esperados serán los niveles del contaminante a una determinada distancia de la fuente o las tasas de deposición<sup>c</sup> del contaminante sobre el terreno.

**Figura 1-2 Concepto de modelación simple.**



**Fuente: Kiely, 1999.**

El nivel de sofisticación puede variar enormemente entre las diversas implementaciones de los modelos, no obstante, la sofisticación del modelo depende en general del nivel de comprensión y entendimiento del sistema en sí. Por ejemplo, para modelar la hidrodinámica del flujo de un río, los modelos usados más comúnmente son unidimensionales, es decir, modelos que dan un valor único a la velocidad en cada corte transversal. En el extremo más

---

<sup>c</sup> Se refiere al conjunto de procesos físicos y químicos mediante los cuales partículas y gases son retirados desde la atmósfera a la superficie de la tierra, por la acción de hidrometeoros, contacto con la superficie de la tierra o acción de la fuerza de gravedad. En la literatura inglesa "Deposition". En este trabajo se optó por deposición en lugar de depositación dado que este último vocablo no incluye la acción de hidrometeoros y el contacto con la superficie de la tierra. Procesos que si considera el concepto de deposición.



sofisticado se encuentra la solución numérica completa de las ecuaciones que describen completamente el flujo total (Kiely, 1999).

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. Esta es la situación de muchos problemas reales en el mundo. Por ejemplo, el estudio del movimiento de un contaminante en las aguas subterráneas o 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. Muchos de los problemas se resuelven analíticamente para condiciones en régimen estacionario (es decir, condiciones del problema que no varían con el tiempo) pero en la realidad, la mayoría de los problemas presentan condiciones que cambian con el tiempo o simplemente no tienen soluciones analíticas, debiendo ser resueltas numéricamente.

No sólo Higashi y Burns (1991) señalaron a la modelación como una metodología sistemática, Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000), coinciden en que la modelación es una metodología que sigue o se ajusta a un conjunto de reglas o principios racionalmente enlazados entre sí. Esta aproximación metodológica, sin ser exactamente coincidente para estos autores en el número y alcance de sus etapas, concuerda en la necesidad de analizar y definir el problema, construir o seleccionar el modelo, especificar los valores de las variables y los parámetros, ejecutar la modelación, evaluar y validar los resultados (Tabla 1-2).

El análisis y definición del problema para efectos de la modelación difiere poco del utilizado en cualquier otra herramienta de análisis. Especialmente, implica estudiar los procesos físicos, químicos o biológicos o de otra índole, identificar aquellos procesos que son esenciales y dominantes, reconocer el

problema, especificar los objetivos de la modelación e identificar aquellas variables del sistema en estudio que son o no controlables.

El primer paso de la construcción o selección de un modelo es 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.

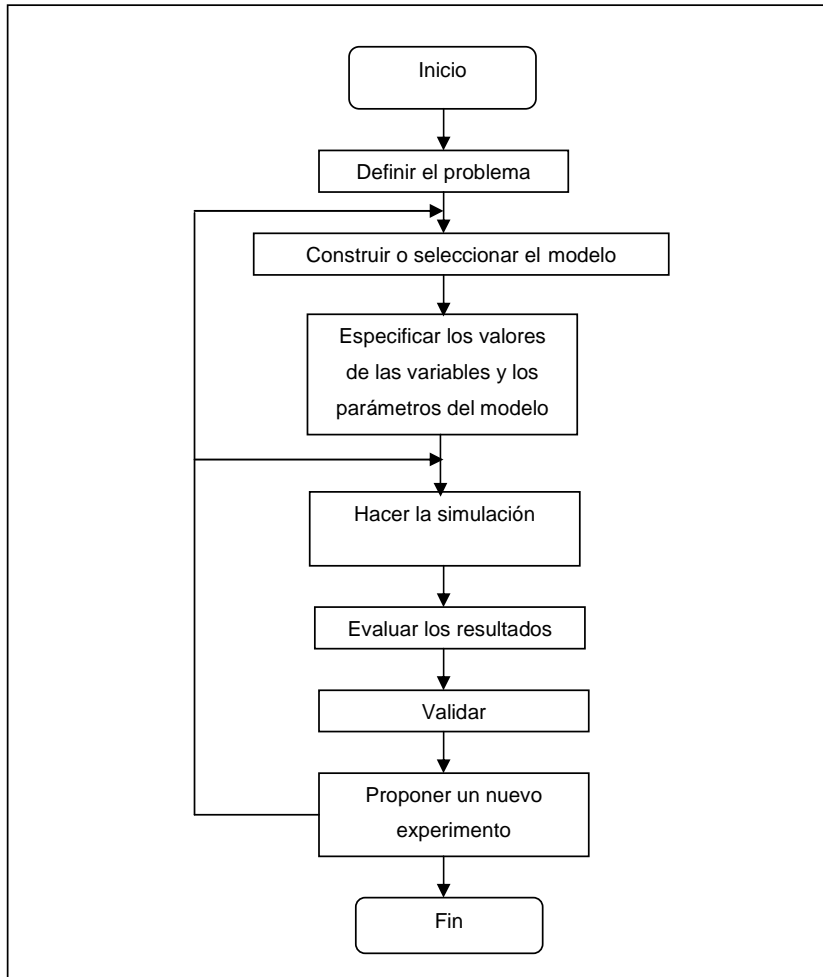
**Tabla 1-2 Pasos para el desarrollo y aplicación de modelos de simulación de sistemas.**

<b>Situación del problema y objetivos del estudio</b>
Reconocimiento de una situación problemática concreta Identificación de los objetivos de la modelación
<b>Análisis del sistema</b>
Aislar el sistema de interés del entorno de dicho sistema Evaluación de los datos existentes Conceptualización del modelo Formulación
<b>Síntesis del sistema</b>
Modelar en ordenador, programación. Verificación del esquema numérico Calibración del modelo Sensibilidad del Modelo Validación del modelo usando otros conjuntos de datos Puesta en marcha del modelo
<b>Análisis de simulación</b>
Evaluación e interpretación de los resultados simulados Nuevo examen de los análisis y síntesis del sistema

Fuente: Adaptado de Tanji, 1994.

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 1-3).

Figura 1-3. Principales fases de la modelación.



Fuente: Kiely, 1999.

La ejecución del modelo propiamente tal, consiste en resolver analíticamente o numéricamente la(s) ecuación(es) y obtener los resultados de dicha ejecución.

Las conclusiones que pueden extraerse de una modelación dependen, naturalmente, del grado en el cual el modelo refleja al sistema real, pero también dependen del diseño del modelo en un sentido estadístico.

En la mayoría de las situaciones, el analista tiene información disponible para comparar los resultados de la modelación con datos del sistema real, datos del desempeño de sistemas similares y el conocimiento propio del analista sobre la operación del sistema real. Sin embargo, la información obtenida de estas fuentes probablemente no es suficiente para validar las conclusiones derivadas de la simulación. Así pues, la única prueba verdadera de una simulación es qué tan bien se desempeña el sistema real después de que los resultados del estudio se hayan puesto en ejecución.

La validación se refiere al hecho de probar el modelo para garantizar que la simulación esté correcta. Específicamente, se trata de verificar si el modelo representa al sistema real de manera adecuada. Durante el desarrollo, selección o aplicación del modelo pueden surgir errores en cualquiera de las etapas de la modelación. El modelo puede funcionar, pero fallar en la producción de resultados correctos.

Con base en los resultados de la modelación, puede realizarse un nuevo experimento de modelación. Se pueden cambiar, entre otros, los parámetros, las variables, las normas de decisión, las condiciones iniciales y la duración del funcionamiento. Se puede reproducir la modelación con niveles de emisión de contaminantes o precios del producto diferentes para ver qué cambios pueden ocurrir. Este ejercicio, se conoce como análisis de sensibilidad. Dicho análisis, al realizarse de manera sistemática de modo de optimizar la elección de parámetros para ajustar los resultados a un conjunto de observaciones se conoce como modelación inversa (Bennett, 2002).

Finalmente, el hecho de ensayar duraciones de funcionamiento diferentes constituye un nuevo experimento en lugar de ser una reproducción

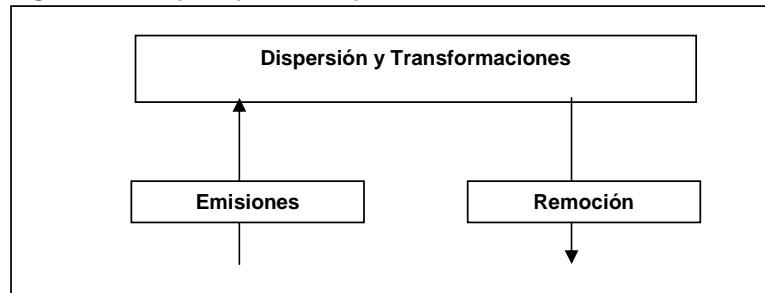
de un experimento previo que depende de los tipos de eventos que ocurren en la operación del sistema con el tiempo.

### 1.2.3 Modelación atmosférica

Desde el punto de vista de la dispersión de contaminantes, la modelación se utiliza 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 criterio, 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 (Lavoisier, 1789).

La concentración de una traza en un punto cambia por convergencia o divergencia de vientos, porque la masa es advectada hacia o desde un punto (horizontal o verticalmente), por la presencia de flujos turbulentos (covariación de fluctuaciones de concentración y viento), por fuentes y por sumideros locales (e.g., transformaciones físicas y químicas, emisiones, remoción por lluvia, etc.). El modelo conceptual y la ecuación que los modelos de dispersión resuelven se muestran en la Figura 1-4 y en la Ecuación 1-1.

Figura 1-4 Principales procesos representados en los modelos.



Fuente: Gallardo, 2003.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -c\nabla \cdot \bar{v} - \bar{v} \cdot \nabla c - \nabla \cdot (\langle c' \bar{v}' \rangle) + Q - S; \quad CB, CI \quad \text{Ecuación 1-1}$$

donde:

$c$ : concentración [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\bar{v}$ : vector velocidad del viento [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$\nabla$ : 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 la traza ( $\langle \rangle$  denota promedio y  $'$  fluctuaciones en torno al promedio).

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

$S$ : sumideros [ $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}$ ]

$CB, CI$ : Condiciones de borde e iniciales

Cualquier modelo de dispersión, esto es, cualquier implementación capaz de resolver ecuaciones como la descrita (una para cada traza), contiene o se comunica con varios otros modelos y/o bases de datos, como se muestra en la Figura 1-5. 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 cada 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

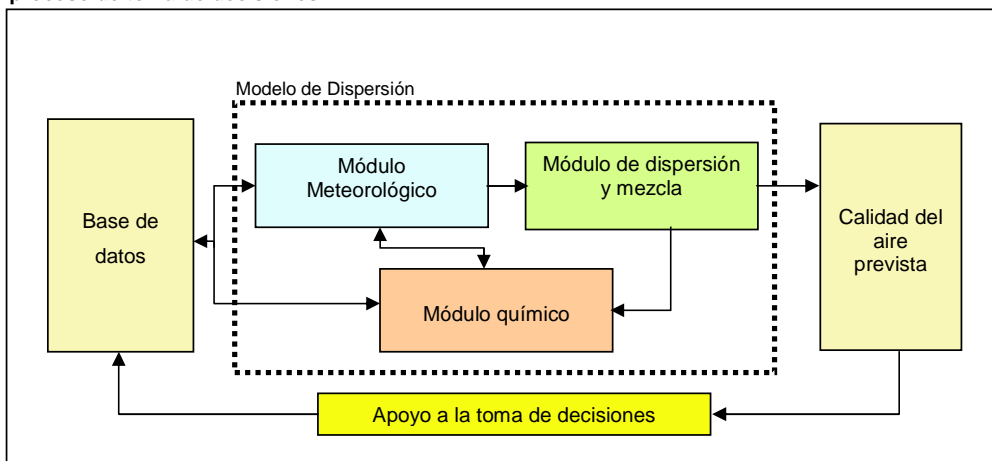
topografía y uso del suelo de la zona. El conjunto de estos módulos se conecta con el no menos complejo proceso de gestión y apoyo a la toma de decisiones.

### 1.2.3.1 Tipos de Modelos

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven la ecuación de continuidad descrita con anterioridad utilizando diversos métodos y aproximaciones (e.g. Seinfeld y Pandis, 1998; Brasseur et al, 1999; Jacobson, 2002).

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, que se describen a continuación.

Figura 1-5 Conexión entre los diversos módulos de un modelo de dispersión y su integración al proceso de toma de decisiones.



Fuente: Adaptado de Gallardo, 2003.

#### 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 el penacho 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 hacer notar 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 (US EPA, 1986).

#### b) Modelos urbanos y regionales

Los modelos de escala urbana y regional están, a menudo, orientados a ser herramientas de gestión de calidad del aire. Los problemas de escala urbana y regional son complejos pues hay que considerar el efecto 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 altura) recopilados de 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 (e.g., Granier, 2003).

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 (e.g., Tilmès et al, 2002).



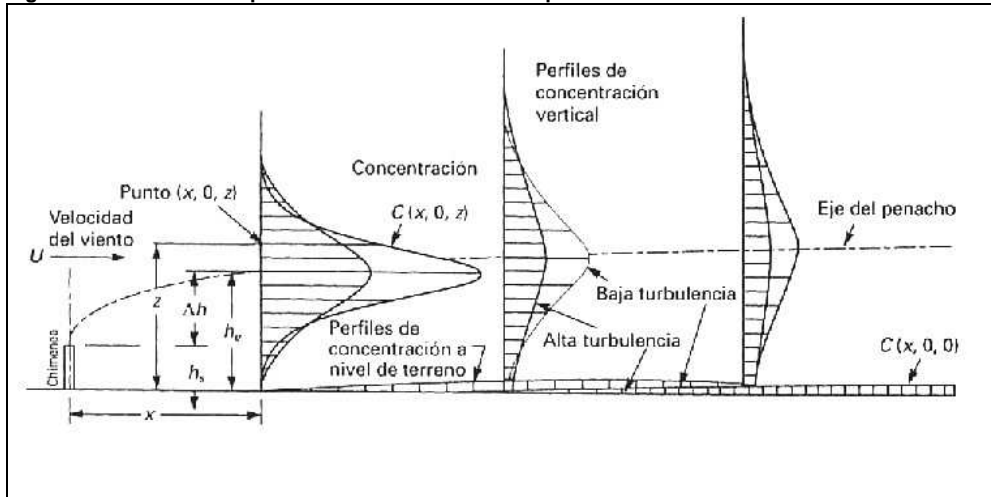
c) Modelos globales

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 (e.g., Granier, 2003).

**1.2.3.2 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.

**Figura 1-6 Elevación del perfil de concentración de un penacho Gaussiano.**



Fuente: Kiely, 1999.

A medida que un penacho 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 un penacho en forma de cono. La concentración en la línea central del penacho será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta,

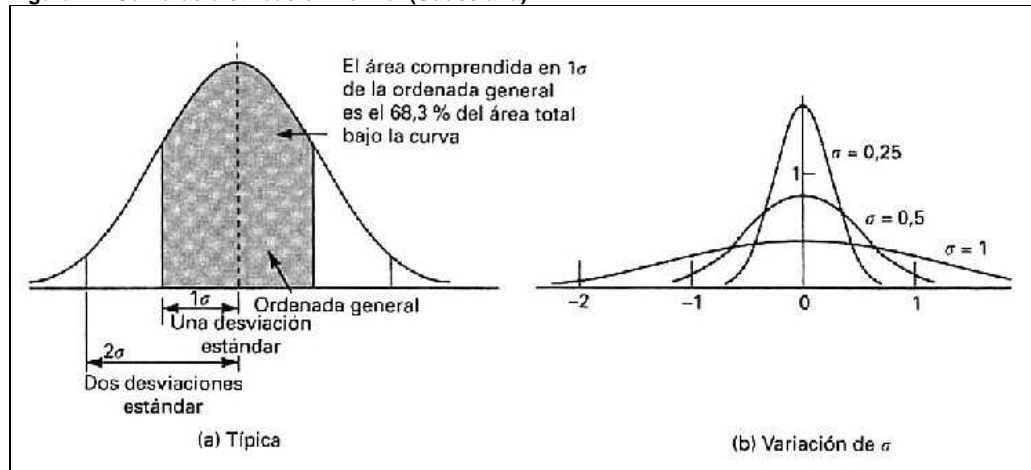
los extremos del penacho pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la Figura 1-6. La concentración de un contaminante en cualquier punto es tal que:

$$C(x, y, z) \propto \frac{1}{U} Q G \quad \text{Ecuación 1-2}$$

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,  $x$ .

En la Figura 1-7(a), se representa la curva normal (gaussiana), 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”.

Figura 1-7 Curva de distribución normal (Gaussiana)



Fuente: Kiely, 1999.

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

$$G_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad \text{Ecuación 1-3}$$

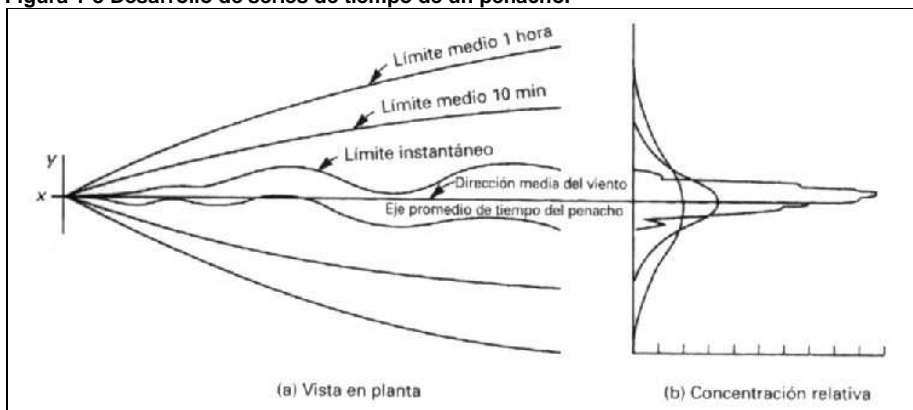
Análogamente en el eje de la Z

$$G_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{Ecuación 1-4}$$

A medida que la distancia viento abajo se incrementa, la concentración máxima en la línea central disminuye ya que el penacho se ensancha en las direcciones z e y. En la Figura 1-7(b) se muestra cómo el valor aumenta a medida que la distancia a partir del foco emisor aumenta.

La Figura 1-8(a) es una gráfica de la evolución del penacho en tiempos diferentes. En cualquier instante, el penacho 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 1-8(b).

Figura 1-8 Desarrollo de series de tiempo de un penacho.



Fuente: Kiely, 1999 en Seinfeld, 1986.

El penacho gaussiano que es transportado en la dirección positiva del eje  $x$  puede ser expresado, en general como:

$$c = \frac{Q}{2\pi \sigma_h \sigma_z \bar{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_{cw}}{\sigma_h}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_s + \Delta h - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{Ecuación 1-5}$$

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 del penacho ( $\sigma_h$  también se escribe como  $\sigma_y$ );  $j_h$  y  $j_z$  son los estados de turbulencia vertical y horizontal;  $d$  es la distancia viento abajo desde la fuente al receptor, donde:

$$d = \frac{|(r-s) \cdot \bar{u}|}{|\bar{u}|} \quad \text{Ecuación 1-6}$$

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

$$\Delta_{cw} = (|r-s|^2 - d^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1-7}$$

y  $\Delta h$  es la elevación del penacho por sobre la chimenea, que es una función de los parámetros de la emisión, condiciones meteorológicas y la distancia viento abajo  $d$ . La Ecuación 1-5 es aplicable para  $d > 0$ ; si  $d < 0$ , entonces  $c = 0$ . Como puede observarse, la Ecuación 1-5 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 (US EPA, 1986).

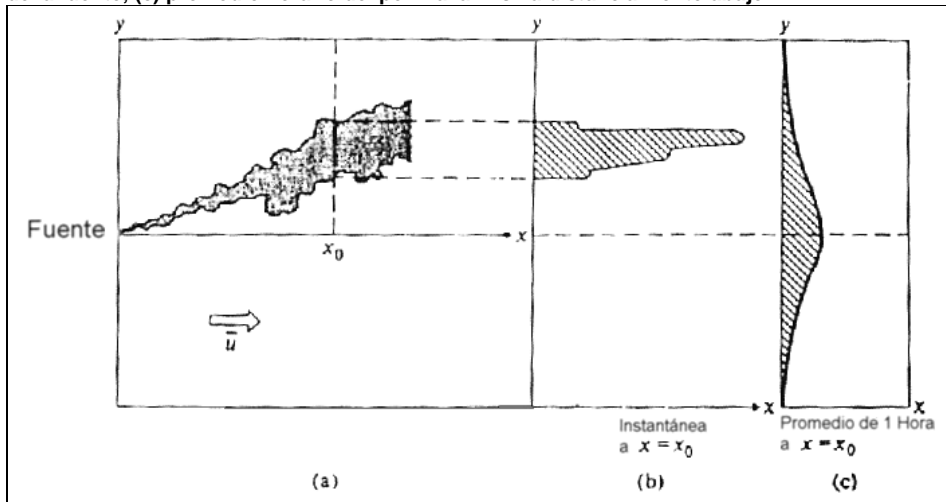
La Ecuación 1-5 es generalmente escrita en la forma:

$$c = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{Ecuación 1-8}$$

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  $\sigma_y$  reemplaza a  $\sigma_h$ , utilizando un sistema de coordenadas cartesianas cuyo eje  $x$  está orientado en la dirección del viento.

La Ecuación 1-8 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 1-9, donde se ejemplifica la distribución instantánea de concentraciones y promedios horarios.

Figura 1-9. (a) Vista instantánea de un penacho, (b) perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento abajo de la fuente; (c) promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.



Fuente: Adaptado de Zannetti, 1990.

Puede concluirse que, aún cuando la concentración instantánea de un penacho 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 Ecuación 1-8 para dar una buena estimación de la concentración máxima a nivel del suelo.

Como 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 estas, es conveniente destacar la incorporación de términos reflectivos para simular la reflexión que puede sufrir un penacho, 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 un penacho sobre el suelo, efectos de edificaciones, penachos que ven limitado su desarrollo al ser atrapados al interior de un valle, penachos inclinados, terreno complejo y dispersión en zonas costeras, etc.. No obstante lo anterior, estos ajustes no son suficientes para representar todos estos procesos y deben ser utilizados cuidadosamente. A la vez, van en desmedro de la mayor ventaja de los modelos gaussianos, esto es, su simplicidad.

Acerca de la ecuación Gaussiana, el cálculo de los coeficientes de dispersión y la elevación del penacho, se puede encontrar una extensa literatura desarrollada para este tema, así como en Bustos, 2003, complemento a la presente investigación.

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

- a) Datos de la fuente: ubicación de chimeneas y otras fuentes (coordenadas), 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

Eliminado: y su

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 aquellos casos dónde algunos datos de largo plazo están disponibles sólo para la región (típicamente, lecturas tomadas en un aeropuerto), 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 mapas con la concentración de los contaminantes a lo largo del área inmediata que rodea a la fuente. El mapa consiste en las concentraciones calculadas en lugar y gráficas de isolíneas de concentraciones. Luego que se trazan los resultados, se evalúan los datos calculados. Los mapas necesitan ser evaluados (normalmente por un experto) comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire

e identificar posibles áreas donde 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 estos son poco representativos (e.g., US EPA, 2003a). Por consiguiente, 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 de los tomadores de decisiones. (e.g., WGB, 1998; Jacobson, 2002)

### **1.2.3.3 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.

Varios modelos de dispersión atmosférica han sido discutidos por las agencias ambientales de Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y 2003a), Europa (EEA, 1999) y Argentina (CNEAA, 1997). La mayoría de ellos se



pueden obtener gratuitamente desde el sitio Internet de la US EPA (US EPA, 2003b), desde donde es posible descargar las rutinas ejecutables, sus manuales e incluso el código fuente. Un resumen de los modelos discutidos por estos tres organismos y una breve descripción de ellos se adjunta en el Anexo A. Algunos modelos de dispersión disponibles.

#### **1.2.3.4 Uso de Modelos Gaussianos desde la perspectiva internacional**

Según antecedentes de la Unión Europea (EEA, 1999), Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y 2003a), Argentina (CNEAA, 1997) y el Banco Mundial (WBG, 1998), la modelación es una herramienta necesaria para estimar los cambios en la calidad del aire –local y a distancia- causados por una o un conjunto de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.

Los informes de las tres regiones examinadas y del Banco Mundial reconocen 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 ~~reconocen todos~~ corresponde a los modelos de dispersión para fuentes puntuales de formulación gaussiana, usados habitualmente para estimar las concentraciones de los contaminantes a nivel del suelo y a poca de distancia de la fuente (algunos cientos de metros a decenas de kilómetros).

Eliminado: -

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 escala local, urbana y regional.

Con los crecientes problemas de contaminación y el énfasis dado a las normas de calidad del aire a partir de la década de los 1970 en Estados Unidos y Europa y en los últimos 10 años en los países en vías de desarrollo, 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.

Como principio general, los países examinados exigen o sugieren 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 diferencia entre los diversos modelos disponibles, de los cuales se presenta una extensa lista en el Anexo A, es su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Algunos de los modelos (como ISC3 y CTDMPPLUS), 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 incorporan interfaces amigables entre la computadora y el usuario, facilitando la entrada y análisis de datos, el despliegue gráfico de los resultados y personalizando los resúmenes de resultados. 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. Generalmente este análisis requiere una gran cantidad de datos y la contratación de personal experto. En Chile existe capacidad de aplicar modelos más complejos (Gallardo, 2003).

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 un industrial puede ser apropiado agrupar las fuentes según sus diferentes tipos: grandes fuentes, fuentes industriales o municipales más pequeñas y emisiones residenciales difusas (e.g., CENMA, 2001). 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 consignado en el Artículo N° 12, letra g), del Decreto Supremo N° 30/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia<sup>d</sup>, “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”, (Chile-MINSEGPRESS, 1997), en donde se establece que la predicción y evaluación de los impactos ambientales se debe efectuar a base de 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.

A diferencia de lo realizado en los otros países examinados, en Chile no se han definido pautas o criterios para realizar la predicción de los impactos ambientales sobre la calidad del aire a base de modelos, simulaciones o cálculos matemáticos, solicitada a los proyectos que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Sólo el Ministerio de Minería desde el año 1991, mediante su Decreto Supremo N° 185, que regula a los establecimientos y fuentes emisoras de anhídrido sulfuroso, material particulado o arsénico, (Chile-MINMIN, 1991), estableció 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

---

<sup>d</sup> Modificado por el D.S. 95/01 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia en el sentido de acotar la evaluación del proyecto a sus fases de construcción, operación y cierre o abandono, si las hubiere.

requisito para obtener la autorización municipal, sin el perjuicio de otras autorizaciones que deba obtener.

Según lo establecido en el mencionado Decreto Supremo, la evaluación debe considerar la aplicación de un modelo matemático para 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 de 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 producirán en situaciones adversas de fuerza mayor.

## CAPITULO II

### 2 OBJETIVOS

#### 2.1 *Objetivos de la Investigación*

En atención a los antecedentes revisados y el marco teórico expuesto, se definieron los siguientes objetivos para esta tesis.

##### 2.1.1 **Objetivo General**

Evaluar el proceso de aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en proyectos sometidos al SEIA en Chile.

##### 2.1.2 **Objetivos Específicos**

- Describir el uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en la evaluación ambiental de proyectos sometidos al SEIA en Chile entre los años 1997 y 2001.
- Determinar si las aplicaciones de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos han considerado una aproximación metodológica apropiada para la naturaleza sistémica de este tipo de herramientas.
- Proponer formas de mejorar el uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en Estudios de Impacto Ambiental.

#### 2.2 *Supuestos de la Investigación e Hipótesis*

##### 2.2.1 **Supuestos de la investigación**

- La modelación matemática es una metodología de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza, basada sobre sus partes observables y sus relaciones, aplicable y comúnmente usada en estudio del comportamiento de la

atmósfera (e.g. Higashi y Burns, 1991; Seinfeld y Pandis, 1998; Brasseur et al, 1999; Jacobson, 2002)

- La modelación es una herramienta sistemática que según Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000) requiere considerar, como mínimo los siguientes pasos:
  - ✓ Estudiar y definir el problema
  - ✓ Construir o seleccionar el modelo
  - ✓ Especificar los valores de las variables y los parámetros
  - ✓ Ejecutar la modelación
  - ✓ Evaluar los resultados
  - ✓ Validar los resultados
- El cambio en el tiempo y el espacio de la concentración o la razón de mezcla de una traza atmosférica contaminante se puede describir por la ecuación de continuidad que expresa el balance entre las variaciones de la concentración de una traza y el efecto de flujos de transporte, fuentes y sumideros (Lavoisier, 1789).
- Los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos son herramientas que resuelven la ecuación de continuidad utilizando diversos métodos y aproximaciones (e.g. Brasseur et al, 1999; Seinfeld y Pandis, 1998; Jacobson, 2002).
- El modelo de penacho gaussiano es el modelo de dispersión de uso más común. Es apto para estimar efectos locales (<10 Km) y su grado de precisión y acierto es, en general, decreciente en tanto se aplica en localidades con relieve complejo y caracterizados por circulaciones atmosféricas complejas (e.g. USEPA, 1986, 1987, 2003a; CNEAA, 1997; WBG, 1998; EEA, 1999).
- El SEIA en Chile exige que la predicción y evaluación de los impactos ambientales de proyectos sometidos a éste, se efectúe a base de modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos. Los procedimientos o

metodologías utilizadas en la predicción y evaluación de los impactos ambientales deben ser debidamente justificadas y efectuadas considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable (CHILE-MINSEGPRES, 1994 y CHILE-MINSEGPRES, 1997).

- Para asegurar que los modelos de dispersión de tipo gaussiano consideren durante su aplicación el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable, se requiere considerar los pasos previos y posteriores a la aplicación del modelo que se encuentran reconocidos para una herramienta sistemática.

### 2.2.2 Hipótesis

- Si los actores que intervienen en el proceso de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental sometidos al SEIA Chileno mantienen la percepción que el uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos tiene deficiencias, entonces, un análisis detallado de proyectos de inversión que consideren el uso de modelos de dispersión en su Estudio de Impacto Ambiental, debieran mostrar que estos presentan errores u omisiones, cuando se revisan en forma crítica en función de la metodología que se requiere en el proceso de modelación según Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000).

Eliminado: .

Eliminado: E



## CAPITULO III

### 3 METODOLOGIA

Con el objeto de evaluar la hipótesis propuesta, se realizó una investigación no experimental de tipo descriptivo que permitiese analizar en los proyectos sometidos obligatoriamente al SEIA bajo la modalidad de Estudio de Impacto Ambiental, entre los años 1997 y 2001, la forma en que fueron tratadas cada una de las etapas o pasos que requiere la aplicación de un modelo dispersión de acuerdo a lo propuesto por Tanji, (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000), es decir:

- ✓ Estudio y definición del problema
- ✓ Selección o construcción del modelo
- ✓ Valores de las variables y los parámetros utilizados
- ✓ Ejecución de la modelación
- ✓ Evaluación de los resultados
- ✓ Validación de los resultados

Para esto, se consideró como unidad de análisis a los proyectos de inversión sometidos al SEIA bajo la modalidad de Estudio de Impacto Ambiental que recibieron las Direcciones Regionales del Medio Ambiente o la Dirección Nacional del Medio Ambiente entre el 04 de abril de 1997 y el 31 de diciembre de 2001 y que contaban con una Resolución de Calificación Ambiental al 07 de abril de 2002.

A partir de los registros de la Comisión Nacional del Medio Ambiente se confeccionó una base de datos con aquellos proyectos que cumplieron las condiciones arriba mencionadas, identificándose un total de 279 proyectos sometidos a evaluación mediante estudio de impacto ambiental, de los cuales 176 fueron calificados favorablemente, 26 en forma desfavorable, 30 desistidos y 47 se encontraban en Calificación al 07 de abril de 2002.

Para los efectos de la presente investigación, se consideró a los proyectos calificados en forma favorable o desfavorable (203) y, por lo tanto, no se consideró a aquellos proyectos que no habían terminado el proceso de evaluación, ya sea, por que el titular desistió del proyecto o su calificación se encontraba en trámite.

Luego de identificar a aquellos proyectos con su proceso de evaluación de impacto ambiental terminado, se solicitó en el Centro de Documentación de CONAMA la documentación digital de los proyectos, procediéndose a identificar y reproducir aquellos Estudios de Impacto Ambiental que contaban con su documentación completa en formato digital<sup>e</sup>. Sólo 22 proyectos cumplieron con esta condición.

A partir de dichos 22 proyectos, se seleccionó y revisó exhaustivamente la documentación de 9 proyectos en los cuales la evaluación del impacto ambiental de sus actividades hubiese contemplado la componente ambiental aire y de los cuales sólo 4 utilizaron modelos. Para la revisión se confeccionó y utilizó el Cuestionario que se adjunta en el Anexo B, denominado “Formulario para Revisión del Uso de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en EIA’s”, diseñado para medir la incidencia de las variables que se indican en la Tabla 3-1, y que concuerdan con el enfoque metodológico propuesto por Tanji, (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000).

En forma complementaria y con el objeto de registrar los criterios utilizados por las personas involucradas en el uso de modelos de dispersión atmosférica de penacho gaussiano, de acuerdo a los distintos roles que a cada uno ha correspondido en la selección, aplicación, evaluación o toma de decisiones a partir de sus resultados, ya sea como Titular de un Proyecto, Evaluador o Consultor<sup>f</sup>, se procedió a entrevistar a un grupo de ellos, utilizándose la pauta

---

<sup>e</sup> Estudio de Impacto Ambiental y anexos relativos a modelación, calidad del Aire y meteorología, Addenda, Resolución de Calificación Ambiental y Recursos de Reclamación (Cuando los hubiesen)

<sup>f</sup> Ya sea en apoyo al Titular del Proyecto o de la Comunidad que se dice afectada por el proyecto.

que se adjunta en el ANEXO C. Pauta para entrevistas a profesionales que utilizan MDCA.

Esta pauta fue diseñada, específicamente para identificar a partir de la opinión de los entrevistados lo siguiente:

1. Aspectos del uso dado a los MDCA que son considerados positivos por los entrevistados.
2. Problemas a los que se han visto enfrentados los entrevistados en el uso de MDCA
3. Efectos de los problemas antes señalados en la Gestión Ambiental.

**Tabla 3-1 Variables utilizadas para describir el tratamiento de las etapas previas y posteriores a la aplicación de un modelo**

<b>Etapas previas a la ejecución del modelo</b>				
<b>Variable</b>	<b>Descripción operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Ítems</b>
Tratamiento de la etapa de estudio y definición del problema	Esfuerzo del modelador por documentar el estudio del problema y los objetivos de la aplicación del modelo.	Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.	Descripción de la fuente emisora	¿Se ha descrito el tipo de fuente y su ubicación, altura sobre el nivel del terreno, altura del punto de descarga y el régimen de operación?
			Descripción de los contaminantes emitidos	¿Se ha descrito a los contaminantes emitidos, su tasa, caudal y temperatura de vertido?
			Descripción de la zona en estudio	¿Se ha descrito la meteorología, topografía, uso del suelo, calidad del aire, presencia de edificaciones de altura y receptores críticos en la zona?
			Identificación de los procesos que inciden en la dispersión de los contaminantes	¿Se identifican los procesos que resultan relevantes en la dispersión de los contaminantes en estudio?
			Establecimiento de objetivos de la aplicación del modelo	¿Se establece el objetivo de la aplicación del modelo?
Tratamiento de la etapa de construcción o selección del modelo	Esfuerzo del modelador en construir o seleccionar un modelo apropiado.	Incorporación de la metodología utilizada para construir o seleccionar el modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.	Concordancia entre el modelo y el problema en estudio y sus objetivos.	¿Se ha descrito la metodología para construir o seleccionar un modelo acorde con las características del problema en estudio y sus objetivos?
			Justificación del modelo construido o seleccionado	¿Se ha justificado el modelo construido o seleccionado?
Tratamiento de la etapa de especificación de valores de variables y parámetros	Esfuerzo del modelador por proporcionar al modelo valores apropiados para sus variables y parámetros.	Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.	Descripción de los valores de las variables y parámetros con la cuales será cargado el modelo	¿Se han descrito los valores de las variables y parámetros con los cuales se realizará la modelación?
			Control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar el modelo	¿Se ha identificado y proporcionado al modelo información en la cantidad y calidad requerida?
			Identificación de la condición más desfavorable	¿Se han identificado los valores que pueden tomar las variables y parámetros del modelo para provocar la condición más desfavorable sobre la calidad del aire?
<b>Etapas posteriores a la ejecución del modelo</b>				
<b>Variable</b>	<b>Descripción operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Ítems</b>
Tratamiento de la etapa de evaluación de resultados	Grado percibido del esfuerzo del modelador por analizar y mostrar al evaluador los resultados del modelo y evaluar el impacto ambiental ocasionado por la actividad analizada	Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.	Presentación y discusión de resultados	¿Se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como las conclusiones que se pueden tomar a partir de estos?
			Análisis de sensibilidad del modelo	¿Se ha discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo a posibles variaciones en los valores utilizados para las variables y parámetros durante la modelación?
			Cumplimiento de objetivos de la modelación	¿Se ha verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos?
Tratamiento de la etapa de validación de resultados	Grado percibido del esfuerzo del modelador por validar los resultados del modelo.	Incorporación de la validación de los resultados de la aplicación del modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.	Precisión de los resultados	¿Se ha presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo?

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO IV

### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Resultados de la revisión de Estudios de Impacto Ambiental

A partir de la revisión de la muestra de estudios de impacto ambiental, es posible establecer que la situación entre los años 1997 y 2001 respecto al uso de MDCA en Chile puede ser resumida como sigue:

##### A. Características generales de la muestra de proyectos:

Los proyectos de inversión revisados fueron los siguientes:

- Uso de Mezclas de Carbón y Petcoke en la Central Termoeléctrica Guacolda S.A.
- Planta de Combustibles - Concón
- Extracción de Áridos Pozo de Colina
- Proyecto de Tostación de Concentrados de Cobre de Faena Soledad
- Tratamiento Térmico de Residuos Hospitalarios - 800 Kg/día
- Gaseoducto Kimiri Aike – Cabo Negro
- Relleno Sanitario Santiago Poniente
- Poliducto Catalina Sur – Gregorio
- Relleno Sanitario Santa Marta (Tercera Presentación)

Las inversiones asociadas a estos nueve proyectos corresponden a un total de MUS\$ 582,1 (Mínimo: MUS\$ 0, Máximo: MUS\$ 460), siendo estas en promedio de MUS\$ 64,7, inversión levemente inferior a los MUS\$ 76,7 alcanzados en promedio por todos los proyectos sometidos al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental entre los años 1997 y 2001, así como, de los

MUS\$ 104,2 invertidos en promedio por los proyectos sometidos al SEIA entre enero de 2002 y noviembre de 2003 (CONAMA, 2003b).

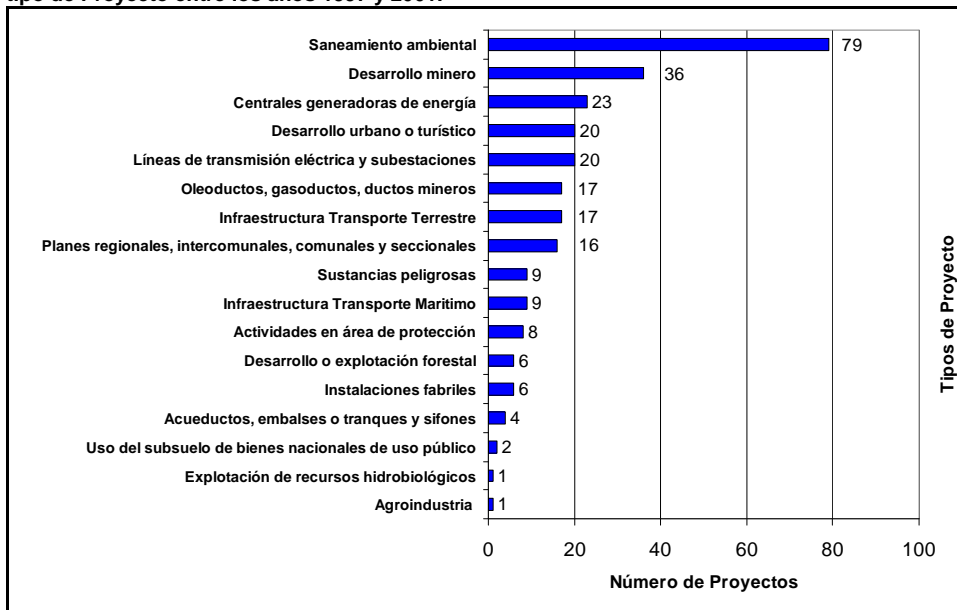
Al comparar las características de los proyectos anteriormente listados y que se presentan en la Tabla\_4-1, con las características de la totalidad de proyectos de inversión sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental entre junio de 1997 y diciembre de 2001 que se presentan en la Figura 4-1, se puede observar que los tipos de proyectos examinados son representativos del 50% de los tipos de proyectos que en mayor número fueron sometidos al SEIA entre los años 1997 y 2001. Esta representatividad disminuye levemente al 48%, si se comparan las características de los tipos de proyectos revisados con los proyectos sometidos al SEIA con posterioridad al año 2001 y hasta noviembre de 2003 que se presentan en la Figura 4-2. De modo que la muestra de estudios evaluados tiene la misma representatividad.

**Tabla 4-1. Tipos de proyectos de inversión analizados**

N° de Proyectos	Tipo de Proyectos	Característica del proyecto por la cual ingresa al SEIA
1	Central Termoeléctrica	Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW
1	Planta de Combustibles	Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radiactivas, inflamables, corrosivas o reactivas
1	Extracción de Áridos	Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo proyección oficial.
3	Tostación de Concentrados de Cobre Gasoducto	Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos,
3	Incineración de Residuos Hospitalarios Relleno Sanitario	Proyectos de Saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos y sólidos.
9	TOTAL	

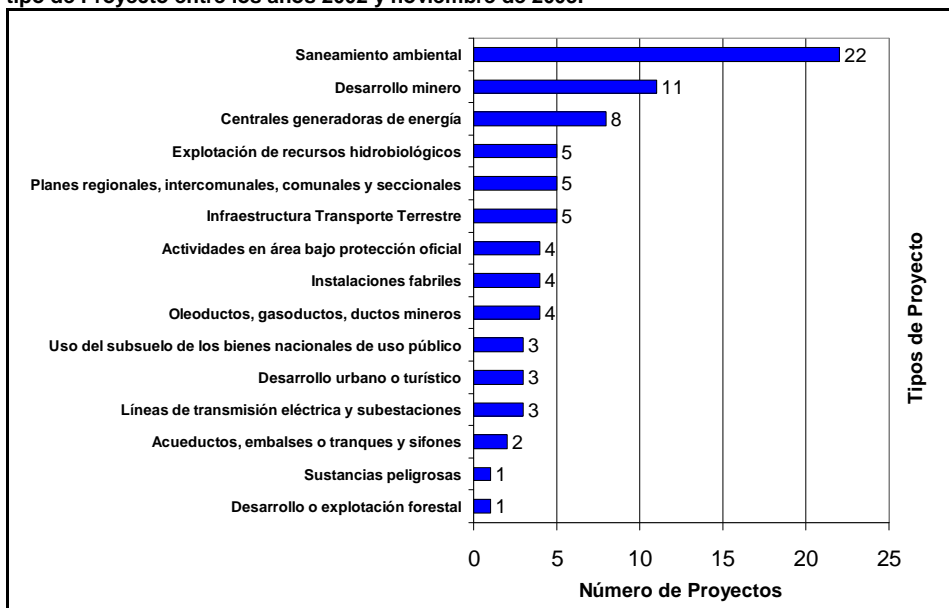
Fuente: Elaboración propia desde CONAMA 2002.

Figura 4-1 Número de proyectos sometidos al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental según tipo de Proyecto entre los años 1997 y 2001.



Fuente: Elaboración propia desde CONAMA, 2002.

Figura 4-2 Número de proyectos sometidos al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental según tipo de Proyecto entre los años 2002 y noviembre de 2003.



Fuente: Elaboración propia desde CONAMA, 2003b.

## **B. Análisis de la etapa de estudio y definición del problema en los EIA**

En los 9 proyectos analizados se detectó que todos declararon actividades que dan origen a emisiones de los siguientes contaminantes atmosféricos, en alguna de sus etapas, a saber:

- Material Particulado Respirable
- Dióxido de Azufre
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrógeno
- Compuestos Orgánicos Volátiles
- Vanadio
- Níquel
- Arsénico

No obstante cada uno de los proyectos identificó la generación de emisiones de contaminantes atmosféricos, siete (7) de los nueve proyectos hizo algún tipo de descripción de sus emisiones, que contemplase al menos la cuantificación de las emisiones y la caracterización de sus fuentes emisoras. En particular, los cuatro tipos de proyectos que se presentan en la Tabla 4-2 utilizaron modelos de dispersión de penacho gaussiano y presentaron una descripción de sus emisiones y de la fuente emisora.

Los cuatro proyectos que utilizaron modelos de dispersión, una central termoeléctrica, una planta de combustibles, un relleno sanitario y una planta de tostación de concentrados de cobre, consideraron una inversión total de MUS\$ 40,6 (Mínimo: MUS\$ 0 y Máximo: MUS\$ 40) y en promedio de MUS\$ 10,1. Un primer elemento que llama la atención es que no se detectó algún criterio común entre aquellos proyectos que optaron por modelar el impacto de sus



emisiones y aquellos que no lo hicieron. Es decir, el uso o no de modelos, al no estar debidamente justificado aparece como arbitrario.

**Tabla 4-2 Tipos de proyectos de inversión analizados que utilizaron MDCA.**

Tipo de Proyectos	Característica del Proyecto por la cual Ingresó al SEIA
Central Termoeléctrica	Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW
Planta de Combustibles	Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radiactivas, inflamables, corrosivas o reactivas
Tostación de Concentrados de Cobre	Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos.
Relleno Sanitario	Proyectos de Saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos y sólidos.

**Fuente: Elaboración propia desde CONAMA 2002,**

La fuente emisora en tres de los proyectos fue caracterizada como una fuente puntual y en uno como de área por tratarse de emisiones desde patios de acopio de materiales.

Para estimar el volumen de las emisiones, dos proyectos utilizaron balances de masas preparados por el titular del proyecto, los otros dos proyectos utilizaron mediciones de éstas o factores de emisión obtenidos desde la literatura.

Para describir la meteorología de la zona en estudio, los proyectos utilizaron información obtenida de alguna estación emplazada en el área del proyecto o sus alrededores, durante períodos de tiempo de 0.25, 1, 6 y 12 meses, en períodos de invierno, invierno-otoño e invierno, otoño, primavera y verano. No se detecta algún patrón común en la duración de las observaciones, ni tampoco en la estación del año.

Las variables meteorológicas medidas fueron rapidez del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección del viento, desviación estándar de la dirección del viento y presión atmosférica.

En ninguno de los proyectos fue posible encontrar 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.

La descripción de la calidad del aire en la zona en estudio, fue obtenida a partir de observaciones realizadas en una estación emplazada en el área del proyecto o en sus alrededores, la duración de las mediciones de calidad del aire fue de 12 meses en dos proyectos y 1 mes en otro. Uno de los proyectos no señala la duración de sus observaciones.

Los contaminantes evaluados fueron  $MP_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , CO, Va, Ni y As. Sólo en los dos proyectos que realizaron observaciones por un periodo de un año fue posible conocer la estación del año en que se realizaron las mediciones. Para los otros dos proyectos no se encontró información en este sentido. Finalmente, sólo uno de los proyectos señaló haber seguido procedimientos para asegurar la calidad de las observaciones, en este caso protocolos de la US EPA.

Para la descripción de la topografía en la zona, los cuatro proyectos utilizaron cartas elaboradas por el Intituto Geográfico Militar. No se encontraron antecedentes que describieran el uso del suelo de las zonas en estudio, así como tampoco, la presencia de edificaciones en altura.

Por otra parte, en ninguno de los proyectos fue posible rescatar algún antecedente que indique que el analista, luego de estudiar el problema haya considerado identificar los procesos más importantes para efectos de la aplicación de un modelo.

Finalmente, en ninguno de los proyectos se establece explícitamente el objetivo de la aplicación del modelo. Esta situación, parece ser una consecuencia del análisis superficial que en apariencia existe de los problemas y que genera que

los analistas no dispongan de información para incorporar en el estudio, hecho que debe impedir alcanzar un grado de entendimiento del problema a modelar que posteriormente permita definir lo que se pretende alcanzar como resultado de la aplicación del modelo.

### **C. Análisis de la etapa de selección del modelo en los EIA**

Todos los proyectos analizados utilizaron modelos de dispersión basados en la aproximación gaussiana, en forma de programa computacional, y por lo tanto, no necesitaron construir el modelo propiamente tal. Sin embargo, esta decisión llevó a los analistas a tener que enfrentarse a la necesidad de seleccionar un modelo que representara en la mejor forma posible al problema y procesos que en éstos intervienen.

No obstante lo anterior, el único argumento encontrado en los proyectos examinados para justificar la selección de los modelos utilizados, se basa en que estos fueron desarrollados por la US EPA y en que fueron ampliamente utilizados en USA y en otros Estudios de Impacto Ambiental en Chile. Si bien, lo anterior es cierto, los analistas no consideraron que la agencia ambiental de los Estados Unidos ha desarrollado y optimizado modelos para atender a los distintos tipos de problemas y escenarios que se presentan durante la evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos en dicho país, y por lo tanto, esto exige que al momento de seleccionar un modelo, se verifique que éste se ajusta a las condiciones particulares del problema en estudio y los objetivos que se han definido.

Lo anterior fue confirmado con el hecho de no encontrar en ninguno de los proyectos revisados algún argumento científico o técnico que justifique la selección de la herramienta de modelación utilizada.

Tal como fue antes señalado, si consideramos que en general el problema a modelar y los objetivos de aplicar esta herramienta no fueron definidos, no resulta extraño que la selección del modelo tampoco se encuentre justificada.

El modelo utilizado por los cuatro proyectos revisados fue el Industrial Source Complex (ISC), (US EPA, 1995). Uno de los proyectos revisados utilizó en forma complementaria un modelo de análisis preliminar denominado SCREEN (US EPA, 1995b).

#### **D. Análisis de la etapa de especificación de valores de variables y parámetros.**

Los estudios revisados, en general, no presentan explícitamente todos los datos con que llevaron a cabo la modelación; en algunos de los casos es posible suponer que se utilizó la información señalada en la descripción de la fuente emisora y del área de estudio, a menos que se revisen los listados de datos de salida del modelo, en donde es posible observar los datos de entrada utilizados; sin embargo, éste listado sólo se encontraba disponible en uno de los proyectos revisados.

La resolución espacial considerada por los proyectos fue indicada sólo en dos de ellos como de 500 m. En cambio, la resolución temporal considerada en la aplicación no fue señalada en ninguno de los cuatro proyectos.

El dominio espacial utilizado por los proyectos fue señalado en tres de ellos correspondiendo a una superficie promedio 143 Km<sup>2</sup> (mínimo 88 Km<sup>2</sup> y máximo 217 Km<sup>2</sup>).

La topografía fue un elemento considerado en la modelación realizada por los cuatro proyectos, los cuales consideraron topografía plana o compleja. Sin embargo, ninguno de los proyectos justifica las razones para seleccionar dichas topografías.

En cuanto al uso del suelo, sólo uno de los proyectos revisados consideró explícitamente el uso del suelo en los alrededores de la fuente, en ese caso, un uso rural.

Finalmente, el escenario modelado y bajo el cual las variables y parámetros debieron tomar los valores que provoquen la condición más desfavorable, fue definido sólo parcialmente en los cuatro proyectos revisados.

El único elemento considerado explícitamente en todos los proyectos fue el uso de las máximas emisiones nominales de las fuentes. Uno de los proyectos, aplicó el modelo sobre la base de distintos escenarios definidos por las emisiones del proyecto en cada una de sus etapas (construcción, operación y abandono).

#### **E. Análisis de la etapa de evaluación de resultados.**

Los cuatro proyectos que utilizaron MDCA presentaron la concentración de los contaminantes en los alrededores de la fuente o algún punto definido como de interés; sin embargo, tan sólo dos de los proyectos determinaron la localización geográfica del punto donde se produciría la máxima concentración ambiental de los contaminantes evaluados.

A partir de los resultados obtenidos, los cuatro proyectos utilizaron los resultados del MDCA para argumentar que dicho proyecto no significaría una superación de las normas de calidad del aire en los alrededores de la fuente.

Dos de los proyectos que utilizaron MDCA presentaron las planillas de datos con los resultados de sus aplicaciones.

En relación a la sensibilidad del modelo utilizado, ninguno de los proyectos se planteó evaluar y/o considerar si algún cambio en los valores utilizados como datos de entrada del modelo podría originar resultados distintos a los obtenidos. Finalmente, ninguno de los proyectos menciona si luego de la aplicación del modelo se han alcanzado los objetivos que motivaron su utilización. Lo anterior

no debe resultar extraño, pues recordemos que estos mismos proyectos no definieron objetivos para la aplicación del modelo.

#### **F. Análisis de la etapa de validación de los resultados**

Ninguno de los proyectos que utilizaron MDCA realiza alguna verificación o comprobación de los resultados de la aplicación del modelo, pese a que en algunos de ellos existía la información suficiente como para evaluar la certeza de la herramienta, por ejemplo comparando los resultados del modelo con monitoreos de la calidad del aire y datos de emisión ya disponibles de la zona en estudio.

#### **G. Análisis de la Calificación Ambiental recibida por el proyecto**

En relación a la calificación ambiental que sufrieron los proyectos revisados, es conveniente destacar que tanto los proyectos que utilizaron modelos de dispersión como aquéllos que no lo hicieron, fueron calificados favorablemente. No obstante lo anterior, todos los proyectos que utilizaron MDCA debieron atender observaciones, aclaraciones o consultas de las autoridades en relación al Estudio de Impacto Ambiental y tres de los proyectos en relación al modelo utilizado.

Los proyectos que utilizaron modelos tardaron en promedio once meses en ser calificados. (mínimo 6 y máximo 26). Por su parte, los proyectos que no utilizaron MDCA tardaron en promedio 8,8 meses en ser calificados (Min. 5, Max. 11). Si consideramos que el tiempo que transcurre en promedio desde que el EIA de un proyecto ingresa al SEIA y se dicta su Resolución de Calificación Ambiental es de 8,7 meses (Covarrubias, 2003), podemos observar que aquellos proyectos que han utilizado MDCA han permanecido mayor tiempo en

evaluación, en comparación con aquellos proyectos que no utilizaron MDCA y que el promedio de proyectos ingresados al SEIA mediante EIA.

En relación al número de veces en que las autoridades hicieron observaciones o solicitaron aclaraciones o rectificaciones a los EIA revisados, los proyectos que utilizaron MDCA debieron atender 3 consultas en promedio. (Min. 2, Max. 4). Por otra parte, los proyectos que no utilizaron MDC debieron atender en promedio 3,75 consultas (Min. 2, Max. 11).

En la Tabla 4-3, se muestra una comparación entre el tratamiento dado a las aplicaciones de modelos de dispersión en los estudios de impacto ambiental examinados y los pasos o etapas señaladas por Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000).

En los proyectos de inversión examinados se encontró que entre los años 1997 y 200, ninguno de ellos:

- Definió objetivos para la MDCA.
- Estableció las razones técnicas o científicas para sustentar la selección del MDCA aplicado.
- Analizó los procesos involucrados en la dispersión de los contaminantes en evaluación.
- Verificó haber proporcionado al modelo la información en la cantidad y calidad requerida.
- Estableció el grado de precisión de los resultados de la aplicación de la herramienta utilizada.
- Evaluó ni validó los resultados de la aplicación del modelo.

En resumen, la tarea de evaluar el impacto ambiental ocasionado por emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas por medio de la aplicación de MDCA, ha estado reducida a la actividad de proporcionar información a un programa computacional y a verificar si los resultados entregados por dicha herramienta satisfacen los requisitos legales

establecidos por las normas de calidad del aire, sin tomarse mayormente en cuenta los pasos previos y posteriores que exige el uso de este tipo de herramientas.



**Tabla 4-3 Tratamiento de etapas previas y posteriores en la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en EIA's en Chile entre 1997 y 2001.**

<b>Etapas anteriores a la ejecución del modelo</b>		
<b>Variable examinada</b>	<b>Descripción operacional</b>	<b>Características de los proyectos examinados</b>
Tratamiento de la etapa de estudio y definición del problema	Esfuerzo del modelador por documentar el estudio del problema y los objetivos de la aplicación del modelo.	Indican las características de las fuentes con distintos niveles de profundidad.
		Indican los contaminantes emitidos.
		Describen la zona en estudio con distintos niveles de profundidad. Es habitual que algunos elementos no sean descritos (uso del suelo, topografía, etc.) o que la información sea incompleta.
		No identifican los procesos más relevantes para la dispersión de los contaminantes en estudio.
	No establecen objetivos para la aplicación del modelo	
Tratamiento de la etapa de construcción o selección del modelo	Esfuerzo del modelador por construir o seleccionar el modelo apropiado.	No verifican si existe concordancia entre el modelo y el problema en estudio y sus objetivos.
		No justifican el modelo seleccionado.
Tratamiento de la etapa de especificación de valores de variables y parámetros	Esfuerzo del modelador por proporcionar al modelo valores apropiados para sus variables y parámetros.	Describen con distintos niveles de profundidad y claridad los valores de las variables y parámetros con las cuales se realiza la modelación.
		No se controla si la calidad y cantidad de la información disponible es apropiada para aplicar el modelo seleccionado.
		Se considera sólo a la tasa de emisión como la condición que puede ocasionar la condición más desfavorable. Otras variables o parámetros no son considerados.
<b>Etapas posteriores a la ejecución del modelo</b>		
<b>Variable examinada</b>	<b>Descripción operacional</b>	<b>Características de los proyectos examinados</b>
Tratamiento de la etapa de evaluación de resultados	Grado percibido del esfuerzo del modelador por analizar y mostrar al evaluador los resultados del modelo y evaluar el impacto ambiental ocasionado por la actividad analizada	Presentan resultados con distinto nivel de claridad y cantidad de información. No siempre se detectan los puntos de máximo impacto.
		No realizan análisis de sensibilidad del modelo.
		No verifican si los objetivos de la modelación fueron alcanzados.
Tratamiento de la etapa de validación de resultados	Grado percibido del esfuerzo del modelador por validar los resultados del modelo.	No presentan o discuten el grado de precisión de los resultados

#### **4.2 Resultados de las entrevistas**

Entre los meses de noviembre de 2001 y marzo de 2002 se sostuvieron entrevistas con distintos profesionales del ámbito público y privado que han tenido contacto con este tipo de herramientas, tales como:

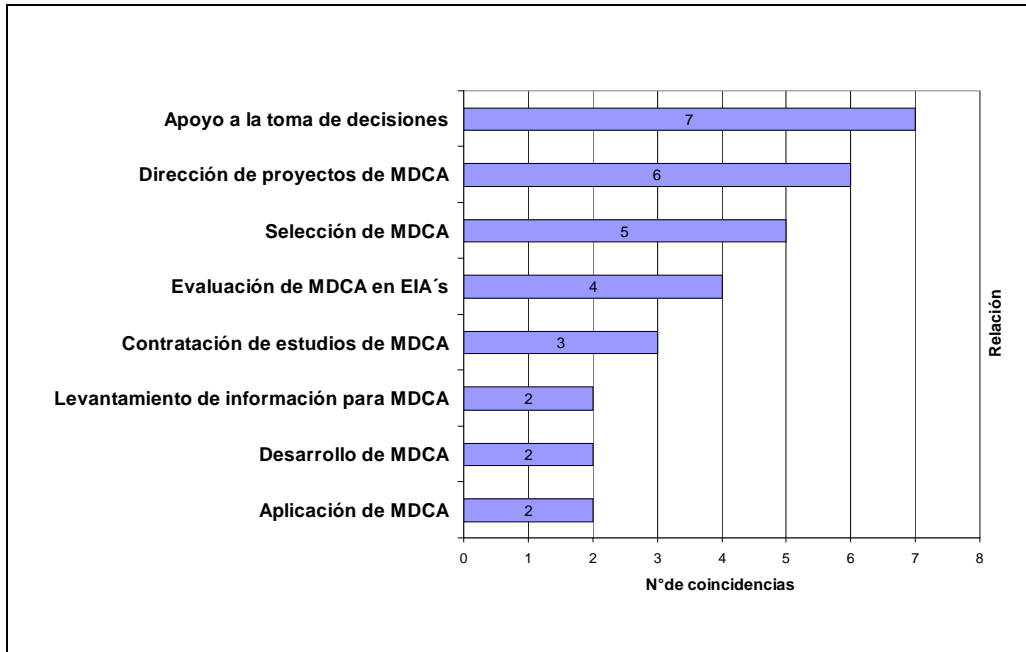
- Ingeniero Civil Mecánico, CONAMA Nacional
- Ingeniero Civil Químico, CONAMA Nacional
- Geofísico, MSc. Meteorología, CONAMA Nacional
- Ingeniero Civil, Consultor
- Ingeniero Civil Matemático, Consultor
- Ingeniero Civil Químico, SESMA
- Biólogo, Consultor
- Ingeniero Químico, Consultor
- Ingeniero Civil Eléctrico, CENMA

De las entrevistas realizadas fue posible establecer, lo siguiente:

##### **A.- Relación entre los entrevistados y modelos de dispersión**

Como se muestra en la Figura 4-3 los entrevistados han estado relacionados con el uso de MDCA principalmente al utilizar estas herramientas como apoyo a la toma de decisiones, la dirección de proyectos o estudios de modelación, la selección de modelos y la revisión y/o evaluación de modelos utilizados en EIA's. En menor grado, han tenido que contratar, aplicar o desarrollar modelos, o proporcionar información para su aplicación.

Figura 4-3 Relación entre los entrevistados y los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

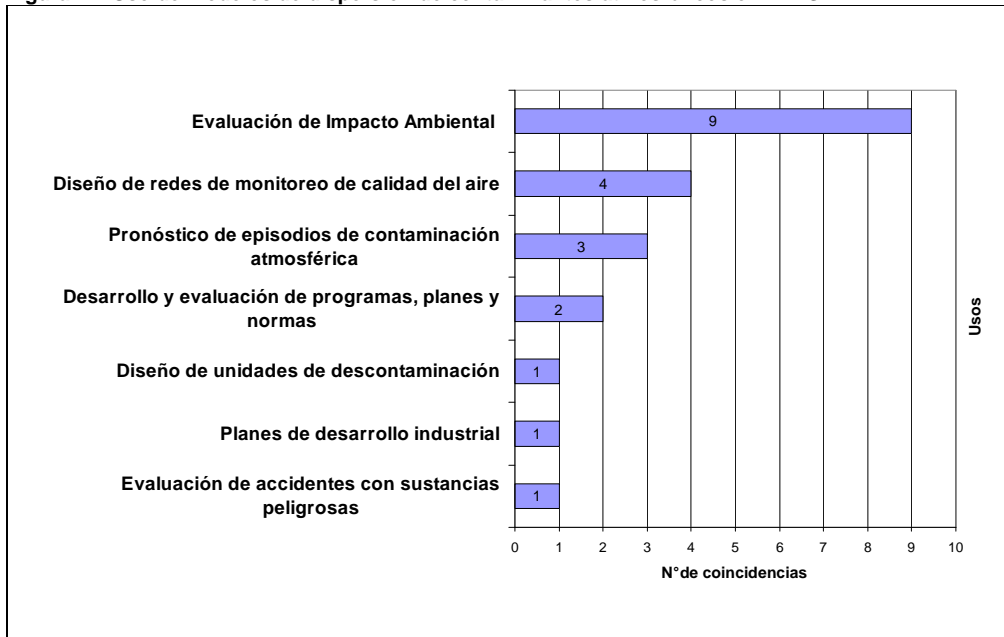


Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas.

### B.- Aplicaciones habituales de MDCA en Chile

De acuerdo a las entrevistas y como se muestra en la Figura 4-4, los modelos de dispersión tienen un uso en Chile que concuerda con los usos informados internacionalmente para este tipo de herramientas. Destaca su uso en evaluación de impacto ambiental, en el diseño de redes de monitoreo de calidad del aire y en el pronóstico de episodios de contaminación, entre otros usos.

Figura 4-4 Uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en EIA'S.

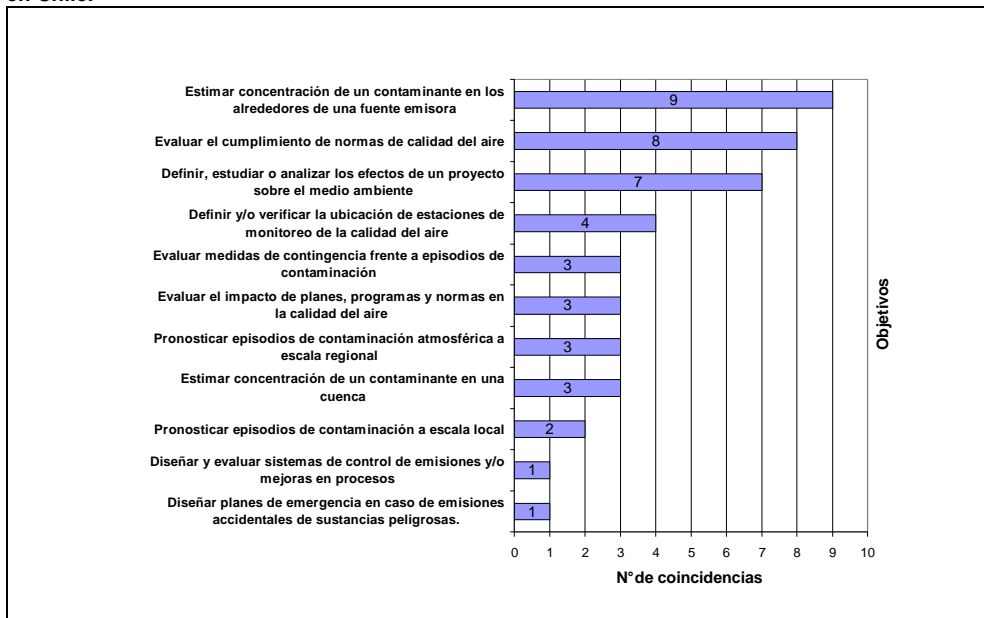


Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas.

### C.- Objetivos perseguidos al utilizar MDCA

Como se muestra en la Figura 4-5 los objetivos que los entrevistados han perseguido al momento de utilizar un MDCA fueron principalmente, estimar la concentración de un contaminante en los alrededores de una fuente emisora, evaluar el cumplimiento de normas de calidad del aire y analizar los efectos de una actividad sobre el medio ambiente.

**Figura 4-5 Objetivos perseguidos al utilizar un modelo de dispersión de contaminantes atmosférico en Chile.**

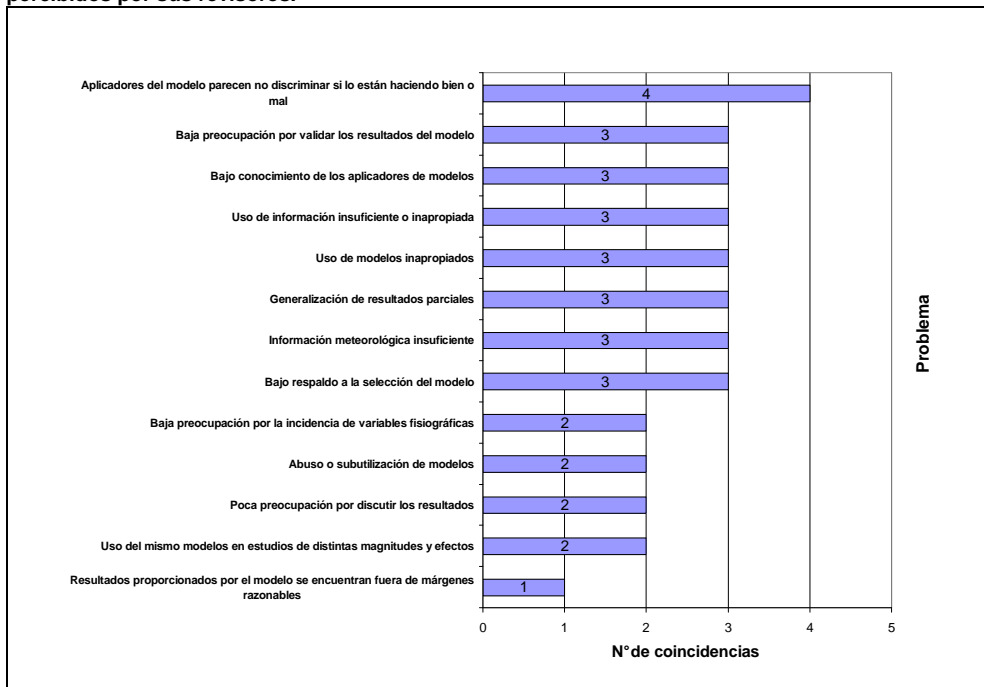


Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas.

#### **D.- Problemas percibidos por los evaluadores**

En la Figura 4-6, se muestra la opinión de los entrevistados que han tenido que revisar aplicaciones de MDCA, en conformidad al rol que la Ley 19.300 asigna a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Comisiones Regionales del Medio Ambiente y otros organismos con competencia ambiental. Los entrevistados detectan que los problemas encontrados en las aplicaciones por ellos revisadas, tienen relación con la baja capacidad que muestran quienes usan modelos para asegurar la calidad de sus aplicaciones, ya sea por el bajo nivel de respaldo en la selección del modelo, como por la deficiente calidad y cantidad en la información utilizada para la modelación.

**Figura 4-6 Problemas asociados a la modelación de contaminantes atmosféricos en EIA's que son percibidos por sus revisores.**

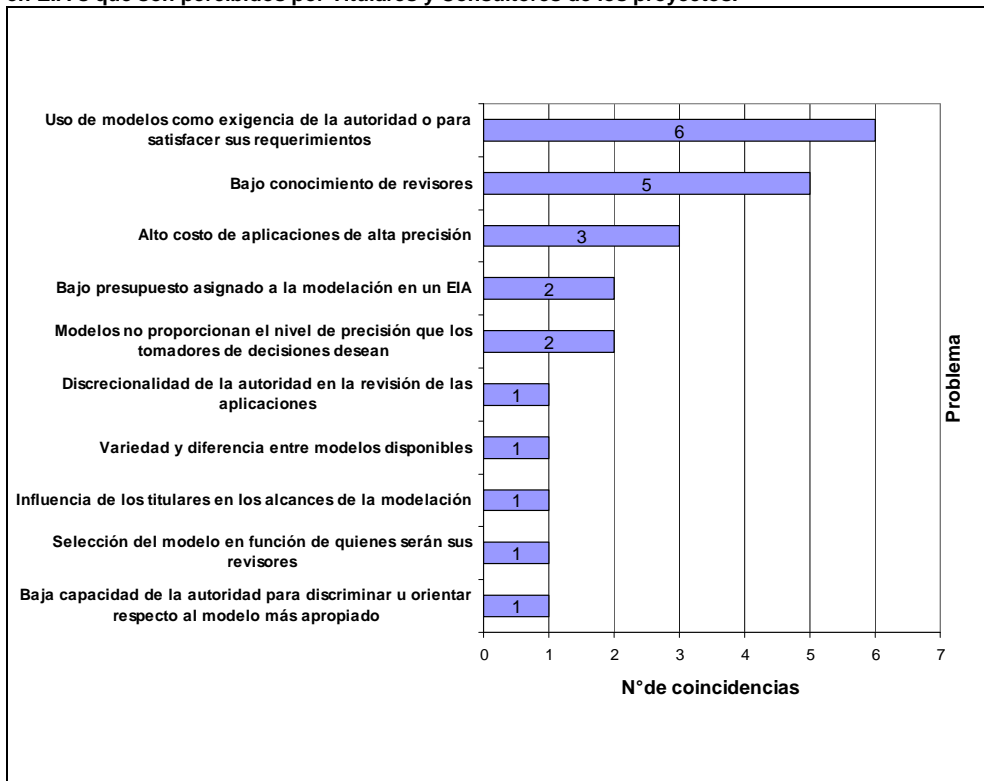


Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas.

### **E.- Problemas percibidos por Consultores y Titulares**

De acuerdo a las entrevistas y como se muestra en la Figura 4-7, los problemas percibidos por los entrevistados que han jugado el rol de consultores o de titulares de un proyecto que ha contemplado el uso de modelos de dispersión, tiene relación con que los modelos se utilizan como una exigencia de la autoridad o para satisfacer sus requerimientos, el bajo conocimiento que presentan los revisores y el alto costo de las aplicaciones de alta precisión, entre otros problemas.

**Figura 4-7 Problemas en relación al uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en EIA's que son percibidos por Titulares y Consultores de los proyectos.**



Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas.

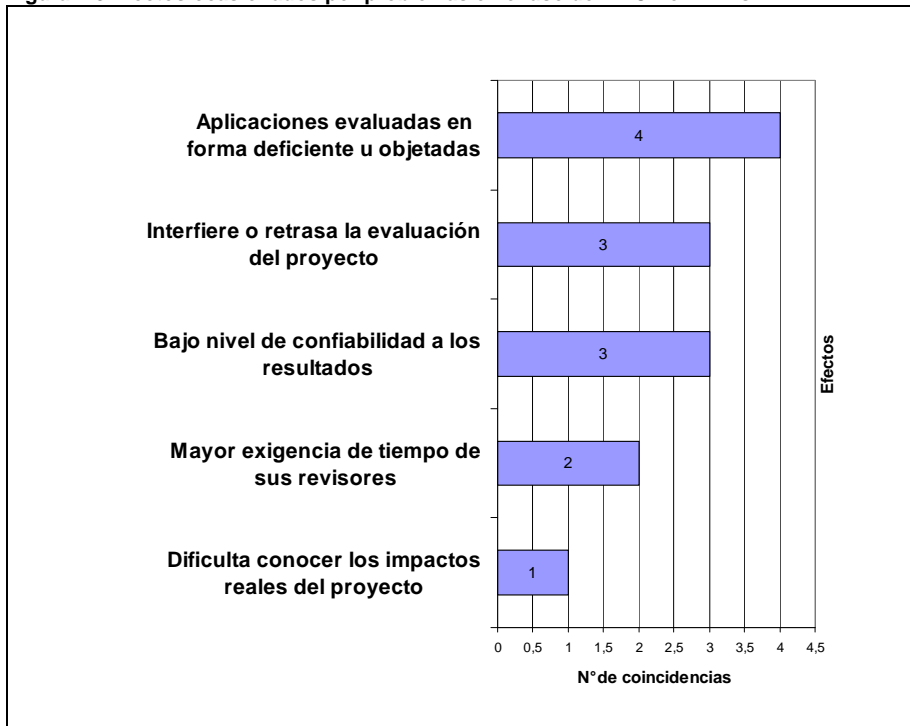
#### **F.- Problemas percibidos por la Comunidad**

De acuerdo a la opinión que los entrevistados han recogido de las personas u organizaciones que han participado del proceso de evaluación de proyectos de inversión sometidos al SEIA, cabe destacar la sobrevaloración que la ciudadanía da al uso de modelos, el bajo nivel de entendimiento que ésta tiene de los mismos y el alto grado de responsabilidad que asignan a las autoridades en asegurar la validez del modelo.

## F.- Efectos ocasionados por los problemas detectados

La serie de problemas detectados en el uso de MDCA en los estudios de impacto ambiental, como se muestran en la Figura 4-8, ocasionan según los entrevistados que las aplicaciones sean evaluadas como deficientes o sean objetadas, se otorgue un bajo nivel de confiabilidad a los resultados de la aplicación de los modelos, así como, exigen mayor tiempo de los revisores, dificultan conocer los impactos reales de un proyecto y finalmente, terminan interfiriendo o retrasado la evaluación del proyecto.

Figura 4-8 Efectos ocasionados por problemas en el uso de MDCA en EIA's.



Fuente: Elaboración Propia en base a entrevistas.



## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES

Los resultados indican que las aplicaciones de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en la predicción y evaluación de los impactos ambientales de proyectos sometidos al SEIA, entre los años 1997 y 2001, no han considerado un enfoque metodológico apropiado para estas herramientas de análisis. Esto pues en ninguno de los proyectos de inversión examinados se encontró, la definición de objetivos para la aplicación del 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, ni validación de los resultados del modelo.

Conforme a los antecedentes expuestos y dada la recurrencia que muestra la información proporcionada por los 9 proyectos de inversión revisados y específicamente la de los 4 que hicieron uso de MDCAG, se considera a estos proyectos como suficientes para aceptar que la hipótesis de la presente investigación es verdadera. Esto porque luego de un análisis crítico de proyectos de inversión que consideraron el uso de modelos de dispersión en su Estudio de Impacto Ambiental, se detectaron importantes errores u omisiones de acuerdo al proceso de modelación propuesto por Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase et al, (2000). Evidencia que, además, concuerda con la opinión de los profesionales entrevistados a lo largo de la investigación.

Las evaluaciones de impacto ambiental que se realizan en Chile utilizan y continuarán haciendo uso de modelos de dispersión atmosférica simples de tipo gaussiano, sin embargo, su mal uso está menoscabando, debilitando y disminuyendo la eficiencia y eficacia del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental debido a problemas de calidad de las aplicaciones y los efectos de

Eliminado: ad

Eliminado: o

Eliminado: marcad0 por elementos que están

estos en el proceso de evaluación de impacto ambiental. A consecuencia de lo anterior, es importante señalar que no se está dando atención rigurosa al sentido de lo establecido en la Ley 19300, en relación a que los procedimientos o metodologías utilizadas en la predicción y evaluación de los impactos ambientales deben ser debidamente justificadas y aplicadas, considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable.

A diez años de vigencia de la Ley 19.300 y del uso formal del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental como instrumento preventivo, se hace necesaria una intervención en el funcionamiento del SEIA para asegurar que la predicción y evaluación de los impactos ambientales de proyectos de inversión cuyas características exigen realizar y contar con la aprobación de un Estudio de Impacto Ambiental, se efectuó de acuerdo a lo establecido en la Ley, es decir a base de modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos que se encuentren debidamente justificados y aplicados correctamente.

Hasta la fecha los cambios que ha propuesto el Gobierno apuestan a perfeccionar el instrumento y parecen reconocer la necesidad de corregir problemas de calidad como los que se han expuesto en esta investigación u otros similares. Si tales problemas no son detectados y corregidos impedirán que las decisiones en torno a la calificación ambiental de proyectos de inversión se adopten de acuerdo a la Ley y con la convicción estar contribuyendo al desarrollo sustentable, oportunidad que nuestro país no debe desaprovechar.

### 6 RECOMENDACIONES

#### 6.1 *Recomendaciones para mejorar la gestión.*

El uso de modelos requiere, en general, que las autoridades 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. En relación a esta materia, a juicio del suscrito se debe considerar una evaluación de su impacto sobre la calidad del aire, utilizando inicialmente un modelo de análisis preliminar (e.g. SCREEN, COMPLEX, RTDM, etc.), en todas las actividades que consideren emisiones de contaminantes o precursores de aquellos que cuenten con una Norma de Calidad de aire en Chile o en alguno de los países señalados en el Reglamento del SEIA, o al tratarse de un sustancia identificada como peligrosa por la Organización Mundial de la Salud u otra organización similar. Si luego de aplicado el modelo de 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 detallado utilizando el MDCA más apropiado disponible (e.g. ISC u otros).

Para mejorar el desempeño del conjunto de actores que participa de la evaluación de impacto ambiental de proyectos de inversión, así como las decisiones que se adoptan a partir de estudios de modelación de contaminantes atmosféricos, se requiere lo siguiente:

- a. Implementar y mantener procesos que desarrollen el conocimiento y competencia en evaluadores, analistas y tomadores de decisiones acerca del estado del arte en cuanto a la modelación de contaminantes atmosféricos y algunos de los modelos disponibles para ser considerados en un Estudio de Impacto Ambiental.

- b. Dotar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de herramientas para asegurar que durante la Evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental que consideren el uso de MDCA, los impactos ambientales ocasionados por el proyecto en evaluación hayan sido correctamente identificados, evaluados y comunicados. Por ejemplo se propone crear grupos de evaluadores independientes conformados por todas aquellas personas involucradas en el uso de MDCA y que acrediten ser competentes en estas materias, a las cuales se les pueda asignar la tarea de evaluar las aplicaciones de sus pares y sean estos quienes proporcionen a la Comisión Nacional del Medio Ambiente o las Comisiones Regionales, una opinión objetiva respecto a si la MDCA ha sido correctamente realizada.
- c. Tal como ha sido propuesto por la Cámara de la Producción y el Comercio de Concepción, se requiere transparentar el mercado de la consultoría ambiental, poniendo al alcance del inversionista la información relativa al desempeño de las empresas consultoras.
- d. Finalmente, otro aspecto importante es asignar responsabilidades legales a quienes participan de la aplicación de MDCA, incentivando a estos a ser más rigurosos en su uso, evitando exponerse a sanciones si se detecta y comprueba que han actuado con negligencia.

## **6.2 Recomendaciones para mejorar la calidad de las aplicaciones de modelos en evaluaciones de impacto ambiental.**

Los estudios que consideren el uso de MDCA deben considerar los siguientes elementos:

- a. Presentar explícitamente los propósitos de la evaluación que se desarrollará.
- b. Presentar la ubicación de las fuentes emisoras en 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, así como la ubicación de estaciones de monitoreo de la calidad del aire y estaciones meteorológicas.

- c. Presentar la información referida a los regímenes de operación de cada fuente. Como mínimo, cada fuente debiese ser modelada para la situación de plena carga. También deben considerarse aquellas situaciones especiales que impliquen mayores emisiones, tales como: cambio de combustible, cambio de carga, detención de equipos de control de emisiones por corte eléctrico o mantenimiento, etc.
- d. 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.
- e. Exponer los procesos que se presumen afectan al contaminante emitido, circulaciones, transformaciones químicas y formas de incorporarse a los ecosistemas.
- f. Presentar para todos los contaminantes bajo estudio su concentración de línea base. Se debe justificar la fuente y validez de la información usada para establecer la concentración de línea base.
- g. 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.
- h. 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.

- i. 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.
- j. 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. En aquellos casos en que en las inmediaciones de la fuente existan edificaciones cuya altura modifique el desarrollo del penacho se deberá especificar las dimensiones de estas edificaciones, indicando su ubicación en el mapa en que fueron localizadas las fuentes y considerar el efecto de estas.
- k. Indicar los criterios utilizados para la selección del dominio del modelo y los receptores, señalando y justificando la extensión del área modelada y la resolución de la grilla usada en el modelo. Para la selección del tamaño de la grilla se debe considerar que con ella sea posible asegurar la presencia de receptores en las áreas de interés y en particular en aquellas en que se esperan las máximas concentraciones. Especial atención debe darse 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.

- l. 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. La información debe incluir la ubicación de las estaciones meteorológicas en relación al dominio modelado, el número de años de información considerados en la evaluación y el origen de la información. Se debe reportar y justificar el formato de la información meteorológica utilizada.
- m. Detectar y señalar las condiciones meteorológicas que originan las máximas concentraciones horarias. Para detectar las condiciones meteorológicas de peor caso, es decir aquellas que implican la concentración horaria más alta, se debe tener en cuenta todas las combinaciones posibles de clase de estabilidad – rapidez del viento – altura de la capa de mezcla.
- n. Discutir y cuantificar la sensibilidad del modelo a la información meteorológica (e.g. diferentes estaciones meteorológicas, variaciones interanuales, características de la superficie), características de la emisión (características de la chimenea, tasa de emisión del contaminantes, diferentes escenarios de operación), resolución de la grilla de receptores y tratamiento del terreno y edificaciones. Se debe reportar la incerteza final del modelo tomando en cuenta los aspectos anteriores.
- o. Detectar y señalar la concentración máxima para promedios de corto plazo (hasta 24 horas) y de largo plazo (mensual, estacional o anual), mediante un análisis de las concentraciones horarias máximas asociadas a cada combinación clase de estabilidad – rapidez del viento – altura de capa de mezcla. Para el cálculo de la concentración media horaria máxima se debe detectar las condiciones meteorológicas de peor caso, tomando en cuenta las combinaciones posibles de clase de estabilidad – rapidez del viento – altura de la capa de mezcla, para cada una de las direcciones de viento. Es

necesario distinguir si se están evaluando una o varias fuentes para discriminar si es necesario rastrear todas las direcciones de viento

- p. Los resultados deben presentar el cálculo de la concentración horaria máxima. Se sugiere presentar de manera similar a la organización del cálculo, indicando, el valor de la concentración horaria máxima proveniente del aporte relativo de la fuente en estudio, el valor de la concentración horaria máxima total, las coordenadas del lugar en que se encuentra la concentración horaria máxima y la rapidez del viento, clase de estabilidad y la altura de la capa de mezcla. En caso de tratarse de fuentes múltiples, la información anterior debe ser señalada para cada una de las direcciones de viento analizadas.
- q. Al informar concentraciones de largo plazo se debe presentar la concentración máxima para cada una de las direcciones de viento analizadas.
- r. Facilitar la verificación de los resultados presentados, mediante la presentación del perfil de la concentración media horaria versus la distancia a la base de la chimenea bajo las condiciones meteorológicas bajo las cuales se produce la máxima concentración horaria.
- s. 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.
- t. 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. Se debe reportar el impacto



porcentual sobre las normas de calidad del aire u otro criterio utilizado para la evaluación.

- u. Discutir los valores obtenidos de la aplicación del modelo y las concentraciones totales para los diferentes tiempos de promediación utilizados. Justificar los supuestos utilizados en relación a los procesos de transformación de los contaminantes para los diferentes tiempos de promediación.
- v. Presentar los datos de entrada usados por el modelo de dispersión durante la evaluación. 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.

## 7 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- BENNETT, A. F., 2002. Inverse Modeling of Ocean and Atmosphere. Cambridge University Press, Cambridge.
- BRASSEUR, G. P., ORLANDO, J. J., TYNDALL G. S., 1999. Modeling in Atmospheric Chemistry and Global Change. Oxford University Press, Oxford.
- BRASSEUR, G. P., ORLANDO, J. J., TYNDALL G. S., 2003. Modeling in Atmospheric Chemistry and Global Change. Oxford University Press, Oxford.
- BRIGGS, G. A., 1969. Plume Rise. US Atomic Energy Commission.
- BRIGGS, G. A., 1973. Diffusion estimation for small emissions, in environmental research laboratories. Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory. 1973 Annual Report. USAEC Report ATDL-106, National Oceanic and Atmospheric Administration, December 1974.
- BRIGGS, G. A., 1985. Analytical Parameterization of diffusion. The convective boundary layer. J. Climate and Appl. Meteor., 24:1167.
- BUSTOS, C., 2003. Dispersión de Contaminantes Atmosféricos – Modelo de Penacho Gaussiano. [en línea] <http://www.geocities.com/sgamsc/pub.htm> [consulta: 11 febrero de 2004]
- CENMA, 2001. Diagnostico integral de la contaminación atmosférica en la macrozona central de Chile. Informe preparado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Centro Nacional del Medio Ambiente.
- CHASE, R. AQUILANO, N., JACOBS, R., 2000. Administración de Producción y Operaciones. Madrid, McGraw-Hill.
- CHILE-MINMIN. Ministerio de Minería. 1991. Decreto Supremo N° 185. Regula a los Establecimientos y Fuentes Emisora de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado o Arsénico, septiembre 1991.
- CHILE-MINSEGPRES. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. 1994. Ley 19.300: Bases Generales del Medio Ambiente, marzo 1994.

Eliminado: et al.

- CHILE-MINSEGPRES. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. 1997. Decreto Supremo N° 30: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, marzo 1997.
- CONAMA, 2002. Sistema de Información Nacional Ambiental [en línea] Santiago, Chile. <<http://www.sinia.cl/>> [consulta: 07 junio de 2002]
- CONAMA, 2003a. Ideas matrices para la modificación de la Ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente Santiago, Chile. <[http://www.conama.cl/portal/1255/articles-28697\\_recurso\\_1.doc](http://www.conama.cl/portal/1255/articles-28697_recurso_1.doc)> [Última consulta: 11 de febrero de 2004].
- CONAMA, 2003b. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental [en línea] Santiago, Chile. <<http://www.seia.cl/>> [Ultima consulta: 02 diciembre de 2003].
- CONAMA, 2004. Normas de Calidad del Aire. <http://www.conama.cl/portal/1255/propertyvalue-10316.html> [Última consulta: 11 de febrero de 2004].
- CNEAA, 1997, Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental Atmosférico. Dawidoski, L., Gómez, D., Reich, S., Buenos Aires, Septiembre, 1997.
- COVARRUBIAS A., 2003. Crecimiento Económico y Costos de la Regulación. Instituto Libertad y Desarrollo. [en línea] Santiago, Chile. <<http://www.lyd.cl/>> [última consulta: 07 diciembre de 2003].
- CPCC, 2003. Estudios de Impacto Ambiental. El problema de la Calidad. Informativo de la Cámara de la Producción y el Comercio de Concepción A.G.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1999, Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Informe de la European Environment Agency. [En línea] <<http://reports.eea.eu.int/92-9167-028-6/en>> [Ultima consulta 26 de abril de 2003]

- 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.
- GALLARDO, L. 2003, Trazas Atmosféricas y su Modelación. Borrador 24/3-2003. En: Morales, R. et al. (Eds.). CENMA. Santiago.
- GRANIER G. P., 2003. Modeling. In “The Changing Atmosphere: An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research. Brasseur et al (Eds.) Springer-Verlag.
- HIGASHI, M. y BURNS, T.P, 1991. Enrichment of ecosystem theory. En: Higashi M & T.P. Burns. (Eds.). Theoretical Studies of Ecosystems. The network perspective. London, Cambridge University Press.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The scientific Basis. Summary for Policy Makers. Cambridge University Press, Cambridge.
- KIELY, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid, McGraw-Hill. 1330p.
- JACOBSON, M., 2002. Fundamentals of atmospheric modeling, Cambridge University Press, Cambridge.
- LAVOISIER, A.,1789. Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes, 2 vols. Paris, Chez Cuchet.
- McELROY, J. L, POOLER, 1968. F. St. Louis dispersion study: Volume II, Analysis. National Air Pollution Control Administration. Publication AP-53, 51. U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Arlington, Virginia.
- PERRY, S.G., BURNS D. J., CIMORELLI, A. J. , 1989. User's Guide to CTDMPPLUS: Volume 1. Model Description and User Instruction. EPA Publication N° EPA-600/8-89-041. Office of Research & Development, Research Triangle Park, NC.
- PERRY, S.G., BURNS D. J., CIMORELLI, A.J., 1990. User's Guide to CTDMPPLUS: Volume 2. The Screening Mode (CTSCREEN). EPA

Publication N° EPA-600/8-90-087. Office of Research & Development, Research Triangle Park, NC.

- RODHE, H., 1992. Modeling Biogeochemical Cycles, en Global Biogeochemical Cycles. Vol. 50 en International Geophysics Series. Butcher et al, editors. Academic Press.
- SEINFELD, J. y PANDIS, S., 1998. Atmospheric Chemistry and Physics. From Air pollution to climate change, J. Wiley and Sons, Inc.
- TANJI, K. K., 1994. Hydrochemical Modeling, Class Notes, Land, Air and Water Resources, University of California at Davis.
- TILMES, S., BRANDT, J., FLATØY, F., BERGSTRÖM, R., FLEMMING, J., LANGNER, J., CHRISTENSEN, J.H., FROHN, L.M., HOV, Ø., JACOBSEN, I., REIMER, E., STERN, R. AND ZIMMERMANN, J. 2002. Comparison of Five Eulerian Air Pollution Forecasting Systems for the Summer of 1999 Using the German Ozone Monitoring Data. J. Atmos. Chem. 42, 91-121.
- TURNER, D. B., 1969. Workbook of Atmospheric dispersion Estimates. EPA, Research Triangle Park. North Carolina. U.S. EPA Ref. AP-26 (NTIS PB 191-482).
- TYNDALL, G.S., WINKER, D.M., ANDERSON, T.L., EISELE, F.L., 2003. Advances in Laboratory and field measurements. In “The Changing Atmosphere: An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research” Brasseur et al (Eds.), Springer-Verlag.
- US EPA, 1986. Guideline on Air Quality Model, Revised, EPA-450/2-78-072R). Research Triangle Park, North Carolina.
- US EPA, 1987. Sensitivity Analysis for Application of the Inhalation Exposure Methodology (IEM) to Studies of Hazardous Waste Management facilities. EPA/600/2-87/071.
- 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, 1995b. SCREEN3 User's Guide. EPA 454/B-95-004.
- US EPA, 2003a. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred Long Range Transport Model and Other Revisions. EPA 40CFR Part 51.
- US EPA, 2003b. Support Center for Regulatory Air Models. [En línea] <<http://www.epa.gov/scram001/>> [Ultima consulta 18 de mayo de 2003].
- WORLD BANK GROUP, 1998. Airshed Models. En: Pollution Prevention and Abatement Handbook, July 1998.
- ZANNETTI, P., 1990. Air Pollution Modeling. Theories, Computational Methods and Available Software, Comp. Mechanics Publications, Southampton Boston.

## 8 Anexo A. Algunos modelos de dispersión disponibles.

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

<b>Nombre</b>	Emissions and Dispersion Modeling System, EDMS 3.1	Industrial Source Complex Model, ISC3	Offshore and Coastal Dispersion Model (OCD)	IFDM
<b>Origen</b>	US EPA	US EPA	US EPA	VITO Mol, Belgium
<b>Aplicación</b>	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
<b>Tipo</b>	Penacho gaussiano	Penacho gaussiano	Penacho Gaussiano	Penacho Gaussiano
<b>Contaminantes</b>	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.
<b>Escala Geográfica</b>	<50 km	<50 km	<50 km	<50 km
<b>Escala temporal</b>	1 hora a 1 año	1 hora a 1 año	1 hora	1 hora a 1 año
<b>Transformaciones Químicas</b>	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.
<b>Clasificación de Estabilidad</b>	Pasquill-Gifford	Formulas de Turner , y Pasquill-Gifford	Pasquill-Gifford	Bultynk-Malet
<b>Meteorología</b>	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria
<b>Elevación del penacho</b>	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs	Formulas de Briggs
<b>Terreno</b>	Simple	Simple o complejo	Complejo	No disponible. Se asume como simple
<b>Uso del suelo</b>	Urbana o rural	Urbana o rural	No disponible	No disponible. Se asume como rural
<b>Referencia</b>	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



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

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

<b>Nombre</b>	CARSMOG	CAR-FMI	ROADAIR
<b>Origen</b>	RIVM, TNO (The Netherlands)	Finland Meteorological Institute, Finland	Norwegian Institute for Air Research (NILU), Norway
<b>Aplicación</b>	Emisiones desde calles y carreteras en tiempo real	Emisiones desde calles y carreteras	Emisiones desde calles y carreteras
<b>Tipo</b>	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
<b>Contaminantes</b>	Contaminantes primarios	Contaminantes primarios y secundarios	Contaminantes primarios
<b>Escala Geográfica</b>	Decenas de metros.	<50 km	<50 km
<b>Escala temporal</b>	1 hora	1 hora	1 hora a 1 año
<b>Transformaciones Químicas</b>	NO2	NO2, O2, O3	NO a NO2 por O3
<b>Clasificación de Estabilidad</b>		Parametrización de la capa límite	Pasquill-Gifford
<b>Meteorología</b>	Horaria	Horaria	Horaria
<b>Elevación del penacho</b>			Formulas de Briggs
<b>Terreno</b>	No disponible.	No disponible	No disponible
<b>Uso del suelo</b>	No disponible.	No disponible	No disponible
<b>Referencia</b>	den Tonkelaar W.A.M. 1995	Härkönen et al., 1994	Gryning, Holtslag, Irwin and Sivertsen, 1987

## **9 ANEXO B. Formulario para la revisión del uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en EIA´s**

### **A) Características Generales del Proyecto**

- i) Nombre del Proyecto:
- ii) Letra del Art. 3 del D.S: 10/97 por el cual(es) el proyecto fue sometido al SEIA
- iii) Monto de la Inversión MUS\$:

### **B) Tratamiento de la etapa de estudio y definición del problema**

- a) Descripción de los Contaminantes Emitidos
  - i) Actividad del proyecto que da origen a la emisión de contaminantes atmosféricos.
  - ii) Volumen de la emisión
- b) Descripción de la fuente
  - i) Características de la fuente
    - (1) Altura sobre el nivel del terreno
    - (2) Altura del punto de descarga
    - (3) Régimen de operación
  - ii) Tipo de Fuente
- c) Descripción de la zona en Estudio
  - i) Características de la información meteorológica utilizada
    - (1) Procedencia de la información
    - (2) Variables medidas (radiación solar, rapidez, temperatura, humedad, dirección del viento, presión, etc.)
    - (3) Extensión temporal y cobertura de la información
  - ii) Características de la calidad del aire
    - (1) Procedencia de la información
    - (2) Contaminantes caracterizados
    - (3) Descripción de la calidad del aire de la zona

- iii) Características de la topografía utilizadas
  - (1) Procedencia de la información
  - (2) Descripción de la topografía de la zona
- iv) Características del uso del Suelo
  - (1) Procedencia de la información
  - (2) Descripción del uso de suelo
- v) Otra información
  - (1) Presencia de otras fuentes
  - (2) Presencia de edificaciones el altura
  - (3) Receptores Críticos
- d) Procesos identificados de alta incidencia en la dispersión de los contaminantes involucrados
- e) Objetivos establecidos para la aplicación del modelo

**C) Tratamiento de la etapa de construcción o selección del modelo**

- a) Concordancia entre el modelo y el problema en estudio y sus objetivos
  - i) Variables y parámetros que inciden en la dispersión del contaminante consideradas en el modelo
- b) Justificación del modelo construido o seleccionado
  - i) Criterios utilizados para elegir el modelo
  - ii) Nombre del modelo de dispersión utilizado.

**D) Tratamiento de la etapa de especificación de valores de variables y parámetros**

- a) Descripción de los valores de las variables y parámetros con los cuales será cargado el modelo
- b) Control cuantitativo y cualitativo de la información necesaria para aplicar el modelo
  - i) Control de calidad al cual ha sido sometida la información
  - ii) Extensión del la información
- c) Identificación de la condición más desfavorable

- i) Identificación del escenario (posible) que dará a lugar a los efectos más desfavorables sobre el medio ambiente.

**E) Tratamiento de la etapa de evaluación de resultados**

- a) Presentación y discusión de los resultados
  - i) Resultados del modelo
  - ii) Conclusiones de la modelación
- b) Análisis de sensibilidad del modelo
  - i) Efectos en los resultados del modelo por variaciones esperables en los valores utilizados.
- c) Cumplimiento de los objetivos de la modelación

**F) Tratamiento de la etapa de validación de los resultados**

- a) Precisión de los resultados
- b) Comprobación de la representatividad de los resultados del modelo

**G) Antecedentes del proceso de evaluación**

- a) Uso de la información y/o conclusiones aportadas por el MDCA a la EIA en la RCA
- b) N° de iteraciones que sufrió el EIA a causa de la Modelación:

## **10 ANEXO C. Pauta para entrevistas a profesionales que utilizan MDCA**

1. Explicar los motivos de la entrevista, así como los objetivos y alcances de investigación.
2. Conocer los antecedentes profesionales del entrevistado
3. Conocer el rol del entrevistado durante su experiencia con modelos de dispersión (Cliente, seleccionador, modelador, evaluador, tomador de decisiones)
4. Conocer los usos dado a los modelos de dispersión.
5. Conocer qué objetivos ha perseguido al utilizar modelos de dispersión.
6. Identificar que aspectos de los MDCA que son considerados positivos por los entrevistados.
7. Identificar los problemas a que se han visto enfrentados los entrevistados en el uso de MDCA
8. Identificar los efectos de los problemas antes señalados en la Gestión Ambiental.