

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**NIVEL DE CONFIABILIDAD DE LA MODELACIÓN USADA EN LA APLICACIÓN DE
MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LOS
ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PERÚ, 2005 - 2010**

TESIS

PRESENTADA POR:

LIC. RAFAEL NERY LIÑÁN ABANTO

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGÍSTER SCIENTIAE*) CON
MENCION EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2011

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

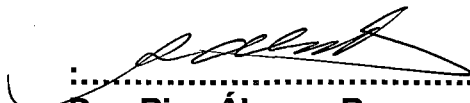
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

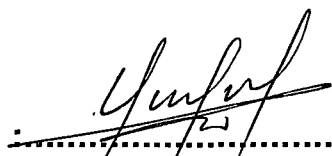
**NIVEL DE CONFIABILIDAD DE LA MODELACIÓN USADA EN
LA APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN DE
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LOS ESTUDIOS
DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PERÚ, 2005-2010**

Tesis sustentada y aprobada el 29 de setiembre del 2011; estando el jurado calificador integrado por:

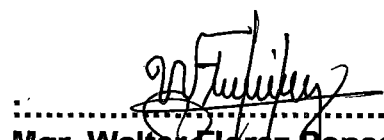
PRESIDENTA


.....
Dra. Rina Álvarez Becerra

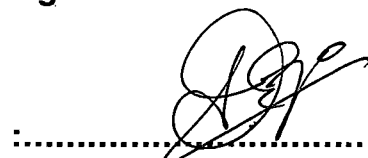
SECRETARIO


.....
Msc. Nataniel Linares Gutiérrez

MIEMBRO


.....
Mgr. Walter Flores Ponce de León

ASESOR


.....
Dr. Alberto Quispe Cohaila

DEDICATORIA

A la memoria de mis queridos y recordados padres, Miguel y Lidia, quienes aun en el cielo siguen guiando mi vida.

Con inmenso cariño, a los seres que motivan mi vida; mi esposa Doris y mis hijos: Anthony, Franco y Paolo.

A mis hermanos, a mi familia y a todos los que sienten mis logros, como suyos.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, a mis colegas y a mis amigos por su ayuda y la permanente motivación para la culminación de este trabajo.

A mis profesores por haber compartido sus conocimientos y experiencias, en especial a la Dra. Rina Álvarez Becerra. Para ella; mi admiración, respeto y cariño.

A mi asesor Dr. Alberto Quispe Cohaila, al Dr. Benjamín Dávila Flores, al Mgr. Natalio Arenas Oporto, y a todos los que colaboraron con el desarrollo de esta Tesis.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	01

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema	06
1.1.1 Antecedentes del problema	06
1.1.2 Problema.....	12

1.2. Formulación del problema	13
1.3 Justificación e importancia	14
1.4. Alcances y limitaciones	16
1.5 Objetivos	18
1.5.1. Objetivo general.....	18
1.5.2. Objetivos específicos.....	18
1.6 Hipótesis	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	20
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1 La Atmósfera.....	25
2.2.2 Trazas atmosféricas.....	26
2.2.3 La Modelación.....	34
2.2.4 Modelación atmosférica.....	44
2.2.5 Tipos de modelos.....	47
2.2.6 Modelo de Dispersión Gaussiano	51
2.2.7 La ecuación de continuidad.....	55

2.2.8 Predicción de concentraciones de contaminantes.....	64
2.2.9 Selección y evaluación de modelos.....	66
2.3. Definición de términos	67
2.4. Marco legal	74
2.4.1 Antecedentes internacionales.....	74
2.4.2 Antecedentes nacionales.....	79
2.4.3 Marco legal ambiental.....	81

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación	93
3.2 Población y muestra	94
3.2.1 Población.....	94
3.2.2 Muestra	96
3.3 Operacionalización de variables	98
3.4 Técnicas e instrumentos para recolección de datos	100
3.4 Procesamiento y análisis de datos	101

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

4.1	Resultados de la revisión de los Estudios de Impacto Ambiental.....	102
4.1.1	Características generales de la muestra.....	102
4.1.2	Resultados de la aplicación de la lista de chequeo.....	103
4.2	Resultados de la aplicación de la <i>Prueba Binomial</i>	105
4.2.1	Resultados de la aplicación de la <i>Prueba Binomial</i> para cada <i>ítem</i>	105
4.2.2	Resultados de la aplicación de la <i>Prueba Binomial</i> para cada dimensión	131
4.2.3	Resultados de la aplicación de la <i>Prueba Binomial</i> en forma general para todos los <i>ítems</i>	142
4.3	Prueba de Hipótesis.....	144
	CONCLUSIONES	147
	RECOMENDACIONES	151
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
	ANEXOS	161

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Composición de la atmósfera terrestre.....	27
TABLA 2.	Niveles Máximos Permisibles para Emisiones Gaseosas.....	90
TABLA 3.	Estándares Primarios de calidad ambiental del aire en el Perú	92
TABLA 4.	Operacionalización de las variables.....	99
TABLA 5.	Contaminantes modelados por cada proyecto.....	103
TABLA 6.	Resultados de todos los <i>ítems</i> para cada uno de los 12 Estudios de Impacto Ambiental	104
TABLA 7.	Resultados del <i>ítem</i> 1 ¿Se ha descrito el tipo de fuente?.....	105
TABLA 8.	Resultados del <i>ítem</i> 2 ¿Se ha descrito la ubicación de la fuente?	106
TABLA 9.	Resultados del <i>ítem</i> 3 ¿Se ha descrito la altura de la fuente?	107

TABLA 10.	Resultados del <i>ítem 4</i> ¿Se ha descrito el punto de descarga?.....	108
TABLA 11.	Resultados del <i>ítem 5</i> ¿Se ha descrito el régimen de operación?.....	109
TABLA 12.	Resultados del <i>ítem 6</i> ¿Se ha descrito los contaminantes emitidos?.....	110
TABLA 13.	Resultados del <i>ítem 7</i> ¿Se ha descrito la tasa de emisión?.....	111
TABLA 14.	Resultados del <i>ítem 8</i> ¿Se ha descrito el caudal de vertido?.....	112
TABLA 15.	Resultados del <i>ítem 9</i> ¿Se ha descrito la temperatura de emisión?.....	113
TABLA 16.	Resultados del <i>ítem 10</i> ¿Se ha descrito la meteorología de la zona?.....	114
TABLA 17.	Resultados del <i>ítem 11</i> ¿Se ha descrito la topografía de la zona?.....	115
TABLA 18.	Resultados del <i>ítem 12</i> ¿Se ha descrito el uso del suelo?.....	116

TABLA 19.	Resultados del <i>ítem</i> 13 ¿Se ha descrito la calidad del aire?.....	117
TABLA 20.	Resultados del <i>ítem</i> 14 ¿Se ha descrito la presencia de edificaciones de altura?.....	118
TABLA 21.	Resultados del <i>ítem</i> 15 ¿Se ha descrito la presencia de receptores críticos en la zona?.....	119
TABLA 22.	Resultados del <i>ítem</i> 16 ¿Se identifican los procesos relevantes en la dispersión?.....	120
TABLA 23.	Resultados del <i>ítem</i> 17 ¿Se establecen los objetivos de la aplicación del modelo?.....	121
TABLA 24.	Resultados del <i>ítem</i> 18 ¿Se ha descrito la metodología para construir o seleccionar el modelo acorde con las características del problema en estudio y sus objetivos?	122
TABLA 25.	Resultados del <i>ítem</i> 19 ¿Se ha justificado el modelo seleccionado o construido?	123
TABLA 26.	Resultados del <i>ítem</i> 20 ¿Se han descrito los valores de las variables y los parámetros con los cuales se realizará la modelación?	124

TABLA 27.	Resultados del <i>ítem</i> 21 ¿Se ha identificado y proporcionado al modelo información en la calidad y cantidad requerida?	125
TABLA 28.	Resultados del <i>ítem</i> 22 ¿Se ha identificado los valores que pueden tomar las variables y parámetros del modelo para identificar la condición más desfavorable sobre la calidad del aire?	126
TABLA 29.	Resultados del <i>ítem</i> 23 ¿Se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como las conclusiones a partir de estos resultados?	127
TABLA 30.	Resultados del <i>ítem</i> 24 ¿Se ha discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo a posibles variaciones en los valores utilizados para las variables y parámetros durante la modelación?	128
TABLA 31.	Resultados del <i>ítem</i> 25 ¿Se ha verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos?	129
TABLA 32.	Resultados del <i>ítem</i> 26 ¿Se ha presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo?	130

TABLA 33.	Resultados de la dimensión incorporación de la descripción del problema	132
TABLA 34.	Resultados para la dimensión incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo	134
TABLA 35.	Resultados para la dimensión incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros	137
TABLA 36.	Resultados para la dimensión incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo	139
TABLA 37.	Resultados para la dimensión incorporación de la validación de los resultados	141
TABLA 38.	Resultado general en porcentajes de la revisión, usando la lista de chequeo, de la aplicación de los MDCA en 12 EIA	143

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos.....	30
FIGURA 2.	Concepto de modelación simplista	35
FIGURA 3.	Principales fases de la modelación.....	39
FIGURA 4.	Pasos en el desarrollo y aplicación de modelos de simulación de sistemas	43
FIGURA 5.	Elevación del perfil de concentración de un penacho gaussiano.....	51
FIGURA 6.	Curva de distribución normal (gaussiana).....	53
FIGURA 7.	Desarrollo de series de tiempo de un penacho.....	55
FIGURA 8.	Vista instantánea de un penacho.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 1	105
GRÁFICO 2	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 2	106
GRÁFICO 3.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 3	107
GRÁFICO 4.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 4	108
GRÁFICO 5.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 5	109
GRÁFICO 6.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 6	110
GRÁFICO 7.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 7	111
GRÁFICO 8.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 8	112
GRÁFICO 9.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 9	113
GRÁFICO 10.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 10	114
GRÁFICO 11.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 11	115
GRÁFICO 12.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 12	116

GRÁFICO 13.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 13	117
GRÁFICO 14.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 14	118
GRÁFICO 15.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 15	119
GRÁFICO 16.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 16	120
GRÁFICO 17.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 17	121
GRÁFICO 18.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 18	122
GRÁFICO 19.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 19	123
GRÁFICO 20.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 20	124
GRÁFICO 21.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 21	125
GRÁFICO 22.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 22	126
GRÁFICO 23.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 23	127
GRÁFICO 24.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 24	128
GRÁFICO 25.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 25	129

GRÁFICO 26.	Porcentajes de las categorías del <i>ítem</i> 26	130
GRÁFICO 28.	Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación de la descripción del problema	132
GRÁFICO 29.	Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo.....	134
GRÁFICO 30.	Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros	137
GRÁFICO 31.	Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación de análisis de los resultados de la aplicación del modelo	139
GRÁFICO 32.	Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación de la validación de los resultados	1419
GRÁFICO 33.	Resultado general en porcentajes de la revisión, usando la lista de chequeo, de la aplicación de MDCA en 12 EIA	143

RESUMEN

La presente investigación analiza el uso o la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos (MDCA) en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) de los proyectos de inversión sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental del Perú (SEIA), entre los años 2005 y 2010. Se realiza mediante la revisión sistemática de dichas aplicaciones; así como a través de entrevistas a profesionales involucrados, tanto ejecutores como evaluadores.

La revisión exhaustiva de una muestra representativa de doce (12) proyectos sometidos al SEIA, que incluye a proyectos mineros, fundiciones y centrales termoeléctricas; y las 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.

Los 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 aplique 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 research examines the use or application of Atmospheric Dispersion Models (MDCA) in Environmental Impact Studies (EIA) of projects in Peruvian under the National System of Environmental Impact Assessment (SEIA) between 2005 and 2010. This is done by systematically reviewing those applications. and through interviews with professionals involved at different stages of the evaluation process.

The review of a representative sample of twelve (12) projects submitted to the SEIA, including mining projects, smelters and power plants; and interviews with professionals indicate that the use of MDCA has taken place, in general, not an approximation appropriate methodology. So that applications do not adequately consider elements such as studying and defining the problem, construct or select the appropriate model, specify the values of variables and parameters, evaluate and validate the results.

These results suggest the need to intervene in the functioning of the SEIA to ensure that MDCA used in accordance with the requirements of the law, namely that its use is justified and properly applied. This requires, firstly, implement and maintain processes to develop the knowledge and competence as evaluators, analysts and decision makers about the state of the art in terms of MDCA.

On the other hand, it is necessary to provide the SEIA of tools to ensure the quality of applications MDCA, transparency in the environmental consulting market, and possibly assign liability for those involved in the preparation of Environmental Impact Studies.

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

INTRODUCCIÓN

Existen muchos informes que cuestionan la calidad de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y de sus procedimientos de evaluación.

Cristian Bustos Salas, en su Tesis para optar el Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental “Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación Impacto Ambiental: Análisis del Proceso”, demostró que la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los EIA, sometidos en Chile al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental entre los años 1997 y 2001, se ha llevado a cabo sin una aproximación metodológica adecuada.

Los resultados de este estudio sugiere la necesidad de realizar un trabajo similar en nuestro país, para asegurar que los MDCA se apliquen de acuerdo a lo exigido en la normatividad del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA); además, porque es necesario dotar a este sistema, 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.

Esto se justifica debido a que algunos actores han expresado sus dudas sobre la calidad de estos estudios y los especialistas cuestionan el mal uso de los MDCA y su interpretación inapropiada, en la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental. Hechos que van en contra de la normatividad ambiental del país y que de continuar esta situación, la confiabilidad de estos estudios irá en disminución; un elemento que, sin lugar a dudas, puede debilitar la eficacia del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

El objetivo general de esta investigación, fue determinar el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010

La hipótesis de trabajo que se estableció fue: el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de

Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010, *es bajo (nada aceptable)*

Este informe se ha dividido en cuatro capítulos de acuerdo a los requerimientos de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

En el Capítulo I se desarrolló la descripción y formulación del problema, la justificación e importancia de la investigación realizada; así como sus alcances y limitaciones, sus objetivos y la hipótesis de trabajo.

El Capítulo II recoge el marco teórico con las exigencias sobre los antecedentes de la investigación de carácter internacional y nacional, incluyendo una revisión de los fundamentos teóricos en los que está basado el estudio, principalmente del proceso de dispersión de contaminantes atmosféricos y los modelos computacionales que solucionan la ecuación de continuidad, así como la definición de términos que ayuden a entender la Investigación. Además, se añadió el marco legal sobre el que se desarrolla el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

El Capítulo III ilustra sobre el tipo y diseño de investigación considerados para este estudio, así como la población objetivo y la muestra de estudio que se ha tomado de ella, teniendo para la presente investigación una *muestra no probabilística*; determinada haciendo uso de ciertos criterios de inclusión y exclusión. En este capítulo también se incluye la operacionalización de las variables de estudio, así como una descripción breve de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, de las fuentes primarias, que para la presente investigación fueron los Estudios de Impacto Ambiental.

El Capítulo IV trata sobre los resultados obtenidos y su discusión. En él se hace una revisión de los Estudios de Impacto Ambiental utilizando para tal fin un instrumento validado, los resultados de este chequeo se someten a la prueba estadística no paramétrica, *Binomial*, en los siguientes casos: para cada uno de los 26 ítems, para las cinco dimensiones establecidas; y finalmente, en forma general. En cada caso se establecieron los puntos de corte que definen la escalas correspondientes. Los resultados son presentados en Tablas y Gráficos y luego se discuten de acuerdo a los objetivos establecidos para esta investigación.

Finalmente, se concluye que el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010, es *bajo (nada aceptable)*, demostrándose la hipótesis propuesta en esta investigación. Terminamos, estableciendo ciertas recomendaciones que coadyuven a fortalecer el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.

1.1.1. Antecedentes del problema

Existen muchos informes que cuestionan la calidad de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), así como, la calidad de los procedimientos de su evaluación. Así tenemos, en Europa, el Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo, del 23 de junio de 2003, sobre la aplicación y eficacia de la Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental (Directiva 85/337/CEE en su versión modificada por la Directiva 97/11/CE). Qué avances han realizado los Estados miembros en la aplicación de la Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental.

Este informe se publicó cinco años después de la entrada en vigor de la Directiva 97/11/CE y se refiere a la eficacia de las modificaciones introducidas por la Directiva 97/11/CE y sobre la

eficiencia general de la Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental. Allí se establece que la calidad de la Evaluación de Impacto Ambiental afecta al proceso decisorio y es un aspecto fundamental para la eficacia de la Directiva. La influencia que pueda tener el resultado de la Evaluación Ambiental en la toma de decisiones será trascendental para los fines de la propia Evaluación de Impacto Ambiental y de la Directiva. La calidad de la decisión dependerá de la calidad de la información suministrada y la validez de una Evaluación Ambiental eficaz deberá traducirse en una decisión que tenga debidamente en cuenta la dimensión ambiental puesta de relieve durante el proceso. En este sentido, la Comisión cree que los Estados miembros deben plantearse, si es preciso, la posibilidad de reforzar sus procedimientos nacionales asegurándose de que las condiciones que lleven aparejadas las decisiones sean suficientes para prevenir o paliar los daños ambientales.

En algunos Estados miembros se deniega el permiso para un proyecto si se prevén daños graves para el medio ambiente, y esta es una manera importante de reforzar la eficacia del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

La revisión de la información facilitada queda a criterio de la autoridad competente en casi todos los Estados miembros y en muchos se lleva a cabo sin listas de control o criterios de revisión específicos. Aunque los elementos enumerados en su anexo IV constituyen la base de los requisitos exigidos para realizar una evaluación suficiente, esta información tan básica sólo se ha desarrollado (por ejemplo, mediante listas de control) en algunos Estados miembros. Casi en la mitad de ellos se ha llevado a cabo algún tipo de estudio sobre la calidad de la información que contienen las declaraciones ambientales y sobre la calidad general de las evaluaciones. Cuando se han realizado, estos estudios han demostrado que hasta un 50% de las DIA no cumplen debidamente los requisitos de la Directiva.

La conclusión principal es que existen muy pocas medidas formales para el control de calidad de los procedimientos de Evaluación Ambiental. La propia Directiva es poco exigente en este aspecto y se centra más bien en cuestiones procedimentales. El control de calidad de las Evaluaciones Ambientales queda en gran medida a criterio de las autoridades competentes y a expensas de las inspecciones ordenadas en los

procesos de revisión judicial. La ausencia de un órgano centralizado que supervise las principales fases de la Evaluación de Impacto Ambiental dificulta a los Estados miembros la aplicación correcta y coherente de sus sistemas. No obstante, hay algunos ejemplos de prácticas innovadoras, como la supervisión de proyectos que llevan a cabo algunos Estados después de tomar sus decisiones, a fin de garantizar la calidad de los resultados del proceso de Evaluación Ambiental.

Para mejorar su aplicación, la Comisión invita a los Estados miembros a que adopten algunas medidas, por ejemplo la creación de registros y la formación de autoridades locales y regionales. Por su parte, prevé la adopción de cinco iniciativas sobre la mejora del *screening* (operación que consiste en determinar si un proyecto en concreto ha de ser objeto de una evaluación del impacto ambiental), la utilización de umbrales, la redacción de orientaciones y de consejos de interpretación de la Directiva, la formación de funcionarios responsables, las consecuencias jurídicas en caso de trasposición incompleta y, si procede, las modificaciones de la Directiva de Evaluación Ambiental; Unión Europea (Comisión al Parlamento, 2003)

En el Perú, el estudio “Análisis del Marco Legal e Institucional Peruano para la Evaluación del Impacto Ambiental” desarrollado como parte del Programa “Revisión de los Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental en Latinoamérica y El Caribe”, ejecutado por el Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) de Chile, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), concluye que: es necesario corregir el marco legal vigente y las “metodologías” de revisión de los Estudios de Impacto Ambiental, para afinar y reglamentar con mayor precisión los criterios que son utilizados para su elaboración y revisión (Alegre, 2000).

El objetivo fundamental de este estudio, fue hacer una revisión de la evaluación de impacto ambiental en los países de la región, a fin de fijar un marco común de análisis para los distintos países que la integran, que permita abordar adecuada y sistemáticamente los problemas cruciales de los sistemas nacionales de evaluación de impacto ambiental.

Buscaba identificar los aspectos comunes de la evaluación de impacto ambiental en los distintos países para

aprovechar las experiencias internacionales y fijar objetivos conjuntos para superar los problemas derivados de la puesta en marcha de los sistemas de evaluación de impacto ambiental en Latinoamérica.

En este contexto se elaboró este informe, que es producto de la revisión del marco normativo e institucional del Perú y de su propia experiencia en la aplicación de los distintos componentes de un sistema de evaluación de impacto ambiental. Se han realizado entrevistas y encuestas a los principales actores involucrados en la Evaluación Ambiental (EA) y se han revisado Estudios de Impacto Ambiental, para verificar su grado de conformidad con la normatividad nacional y su eficiencia como herramienta de prevención en la gestión ambiental.

La Evaluación Ambiental, como instrumento de gestión, fue introducida en la legislación nacional, a través del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. No obstante, cabe señalar que esta primera referencia legal es sesgada, debido a que lo regulado en el Código es en realidad, el EIA y no la EA como proceso, aún cuando ambas figuras han sido

posteriormente reglamentadas de forma indistinta, a través de diversos dispositivos legales de carácter sectorial.

La falta de una base legal general clara y precisa, junto con la tradicional sectorialización administrativa del país, han sido entre otras, causas de un proceso de reglamentación inorgánico de la EA, que ha dado como resultado que en la actualidad confluyan en el país, diversos cuerpos normativos que regulan el EIA y la EA con diferencias sustanciales, que hacen más pesado el camino hacia el establecimiento de un SEIA.

1.1.2. Problemática de la investigación

Existen muchos indicios que la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos (MDCA) en los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de inversión sometidos al Sistema Nacional de Evaluación Impacto Ambiental (SEIA), no se está realizando con una aproximación metodológica adecuada; es decir, no se realiza la modelación ambiental adecuada, como paso previo a la aplicación de estos modelos usados en la predicción y evaluación de los impactos

ambientales.

Efectivamente, algunos actores han expresado sus dudas sobre la calidad de estos estudios y los especialistas cuestionan el mal uso e interpretación inapropiados a los Modelos de Dispersión de Contaminantes en la Evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental. Hechos que van en contra de la normatividad ambiental del país.

De continuar esta situación, la confiabilidad de estos Estudios irá en disminución, un elemento que sin lugar a dudas, puede debilitar la eficacia del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental

1.2. Formulación del problema

Habiendo definido y delimitado nuestro estudio, podemos resumir nuestro problema mediante la siguiente proposición:

¿Cuál es el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en los estudios de impacto ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010?

1.3. Justificación e importancia

Desde el punto de vista teórico, esta investigación generará reflexión y discusión, tanto en los evaluadores como en los formuladores, sobre la importancia de establecer una modelación previa a la aplicación de cualquier Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos, tal como lo exigen diversos científicos ambientales. Caso contrario, la confiabilidad en estos Estudios irá en disminución y por consiguiente se estaría produciendo un constante deterioro ambiental.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación está proponiendo la aplicación de una metodología de evaluación aceptadas internacionalmente que garanticen una debida o adecuada evaluación.

Desde el punto de vista de la gestión ambiental, esta investigación está proponiendo la aplicación de la modelación como una herramienta de prevención en la gestión ambiental. Además, abrirá nuevos caminos para que los responsables de los Estudios de Impacto Ambiental y los evaluadores ambientales, lo transiten sin ambigüedades ni excusas.

Finalmente, *profesionalmente* es de vital importancia, toda vez que los conocimientos que fluyen de esta tesis, nutrirán a los profesionales involucrados en los temas ambientales y permitirá sentar las bases para establecer la observancia obligatoria de esta modelación en los Estudios de Impacto Ambiental.

En este trabajo se aborda el problema aludido a través de la revisión sistemática de la aplicación de los Modelos de Dispersión en los Estudios de Impacto Ambiental y se proponen medidas para superar las omisiones o deficiencias, que permitan fortalecer la eficacia del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. La presente investigación es propuesta como un paso en esa dirección.

1.4. Alcances y limitaciones

Esta Investigación alcanza a todos los estudios de impacto ambiental de los proyectos de inversión presentados a la Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Asuntos Ambientales Energéticos del Ministerio de Energía y Minas y que cuenten con Resolución Directoral de aprobación, entre el 01 de Enero del 2005 y el 31 de diciembre del 2010.

Los estudios de Impacto Ambiental de estos grandes proyectos, contemplan la componente aire o calidad del aire, que es donde se abordara el problema aludido a través de la revisión sistemática de estos estudios.

Las limitaciones encontradas durante la realización de la presente investigación fueron, entre otras las siguientes:

- No existe una clasificación de los estudios que aplicaron Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos y de aquellos que no usaron estos modelos.

- La falta de una sistematización de la información, de tal forma que para revisar los estudios nos encontramos con grandes volúmenes de información que dificultaban la búsqueda de la información requerida.

- La falta de una reglamentación o protocolo para la presentación de los estudios de impacto ambiental, que exija la presentación de un anexo, conteniendo el modelamiento para aplicar los Modelos de Dispersión..

- La temporalidad de los estudios en la página Web del Ministerio de Energía y Minas, luego de su aprobación son retirados de su página.

- La distancia del lugar donde se realizó la investigación (Tacna) al lugar donde se encuentra la información, Ministerio de Energía y Minas (Lima); el tiempo de permanencia en la ciudad de Lima del maestrante, también constituye una limitante.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar el nivel de confiabilidad de la modelación usada para la aplicación de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, durante el periodo comprendido entre los años 2005 al 2010.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Determinar si las aplicaciones de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos han considerado la etapa de estudio y definición del problema.

- b) Determinar si las aplicaciones de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos han

considerado la etapa de construcción o selección del modelo.

- c) Determinar si las aplicaciones de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos han considerado la etapa de especificación de valores de variables y parámetros
- d) Determinar si las aplicaciones de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos han considerado la etapa de análisis de los resultados
- e) Determinar si las aplicaciones de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos han considerado la etapa de validación de resultados.

1.6. Hipótesis

El nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú durante el periodo del 2005-2010, es *bajo*

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Según los estudios realizados en la Unión Europea (EEA, 1999a y 1999b); Estados Unidos (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 público y privado, 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).

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 para 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 diferencias entre los diversos modelos disponibles, es su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Algunos de los modelos (como ISC3 y CTDMPLUS), son denominados como *modelos preferidos* por la US EPA debido a que acreditan cumplir los criterios técnicos mínimos definidos por esa Agencia Ambiental, fueron probados en terreno y extensamente revisados. Lo anterior no indica que un “modelo no preferido” sea menos apropiado para una determinada aplicación, pero sí, que existen experiencias documentadas para los “modelos preferidos” que pueden dar mayor credibilidad al estudio. Sin embargo, tampoco el uso de un “modelo preferido” asegura que cualquier aplicación sea exitosa.

Estos modelos fueron desarrollados y se han usado en países industrializados y pueden ser útiles en países en vías de desarrollo. Sin embargo, su uso puede requerir de una adaptación o calibración de acuerdo a la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y

condiciones bajo las que son utilizados. Por ejemplo, los modelos de dispersión no han sido objeto de una evaluación de sus resultados en relación a registros de calidad del aire en áreas tropicales o cordilleranas.

Varias empresas privadas ofrecen versiones mejoradas de modelos gaussianos. Las mejoras 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.

En Chile, Cristian Bustos Salas, en su Tesis para optar el Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental: "Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación Impacto Ambiental: Análisis del Proceso". Demostró mediante un examen exhaustivo de una muestra representativa de nueve proyectos sometidos al SEIA, 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 (Bustos, 2004).

Este estudio sugiere la necesidad de realizar un trabajo similar en nuestro país, para asegurar que los MDCA se utilicen de acuerdo a lo exigido en la normatividad del SEIA.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La Atmosfera

La palabra atmósfera tiene su origen en los vocablos griegos “*atmos*” y “*sphaira*” que significan vapor y esfera, respectivamente. Es decir, se refiere al envoltorio, mayoritariamente gaseoso, que rodea a nuestro planeta. Nuestra atmósfera tiene una masa total de aproximadamente 5×10^{15} T, o 5×10^{21} g., y es solo la millonésima parte de la masa de la Tierra. Es más, esa masa atmosférica se encuentra en un 99 % dentro de los primeros 30 Km., de atmósfera, por lo que no es exagerado caracterizarla como una pequeña película protectora de la Tierra (Figueruelo y Marino, 2004), y toda la atmosfera tiene un espesor de no más de 1.5% de los aproximadamente 6 200 Km., del radio de la tierra 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).

2.2.2. Trazas atmosféricas

Mientras el N₂ y el O₂ son los componentes mayoritarios con más del 99%, dentro del cerca de 1%, restante se encuentra el argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂) y otras especies en variados estados de agregación que, por sus proporciones ínfimas se denominan *trazas atmosféricas*. Son estas trazas atmosféricas, incluyendo al relativamente abundante CO₂, las que definen las propiedades químicas y radiactivas de nuestra atmósfera y las que interconectan los sistemas bióticos y abióticos estableciendo las condiciones para la vida (Gallardo, 2003). Concretamente, reciben el nombre de trazas atmosféricas o componentes traza a aquellos componentes con abundancia menores al 0,0001%. (Figueruelo y Marino, 2004).

La habilidad para medir trazas atmosféricas ha experimentado un desarrollo vertiginoso que hace posible cuantificar abundancias inferiores a 1 molécula por cada 10¹² moléculas de aire con instrumentos *in situ* o remotos en condiciones semiautomáticas (Brasseur et al, 2003). Algunas de

estas trazas y sus abundancias atmosféricas se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la atmósfera terrestre

Constituyente Atmosférico	Fórmula química	Razón de mezcla en volumen de aire seco
Nitrógeno	N ₂	78,084%
Oxígeno	O ₂	20,948%
Argón	Ar	0,934%
Dióxido de carbono	CO ₂	360 ppm
Neón	Ne	18,18 ppm
Helio	He	5,24 ppm
Metano	CH ₄	1,7 ppm
Hidrógeno	H ₂	0,55 ppm
Óxido nítrico	N ₂ O	310 ppb
Monóxido de carbono	CO	50-200 ppb
Ozono (Tropósfera)	O ₃	10-500 ppb
Ozono (Estratósfera)		0,5-10 ppb
Hidrocarburos no metálicos		5-20 ppb
Halocarbonos		3,8 ppb
Óxidos de nitrógeno	NO _y	10 ppt – 1 ppm
Amonio	NH ₃	10 ppt – 1 ppb
Nitrato particulado	NO ₃	10 ppt-10 ppb
Amoniaco particulado	NH ₄	10 ppt – 1 ppm
Hidroxilo	OH	0,1 ppt- 10 ppt
Peróxilo	HO ₂	0,1 ppt- 10 ppt

Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	0,1 ppb- 10 ppb
Formaldehido	CH ₂ O	0,1 ppb -1 ppb
Dióxido de azufre	SO ₂	10 ppt-1 ppb
Dimetil sulfuro	CH ₃ SCH ₃	10 ppt-100 ppt
Carbonildisulfuro	CS ₂	1 ppt-300 ppt
Carbonil sulfuro	OCS	500 ppt
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	5-500 ppt
Sulfato particulado	SO ₄ ⁻²	10 ppt-10 ppb

Fuente: (adaptado de Brasseur *et al*, 1999).

No se ha incluido en la tabla el vapor de agua porque su proporción es variable, entre el 0,01 y 5 %, dependiendo de la temperatura.

Esta fracción de la composición de la atmósfera se ha visto fuerte y rápidamente alterada por las actividades antropogénicas en los últimos dos siglos; así, desde el año 1750, la concentración atmosférica de bióxido de carbono (CO₂) aumentó en un 31%, de 280 partes por millón a cerca de 367 ppm en la actualidad. La concentración de CO₂ del presente no

había sido excedida en los últimos 420,000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años. Teniendo ello consecuencias sobre la calidad de vida de las personas, los ecosistemas en general y el sistema climático en su conjunto (AWMA, 2000; IPCC, 2001; Brasseur *et al.*, 2003).

La composición de la atmósfera es estable y sus componentes principales están regulados por ciclos de formación-descomposición, que conducen a concentraciones estacionarias, sobre todo en las proximidades de la superficie terrestre.

La figura 1 muestra escalas de tiempo y espacio características para distintas trazas atmosféricas. 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). Así, las concentraciones de oxígeno molecular (O_2) que tiene un tiempo de recambio de varios miles de años varían muy poco de lugar en lugar, mientras que las de amoníaco (NH_3) que tiene un

tiempo de recambio de unos pocos días varían mucho de lugar en lugar.

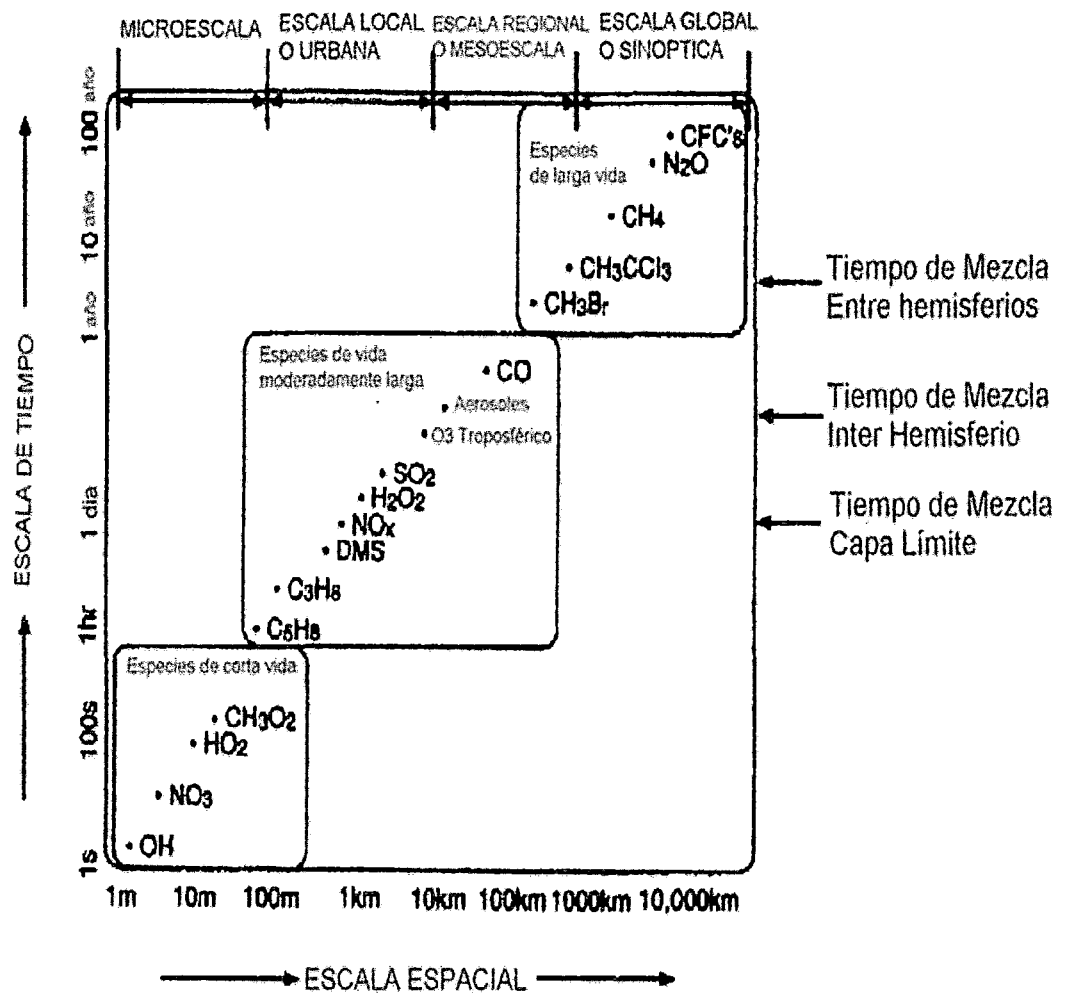


Figura 1 Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos (Adaptado de Brasseur *et al*, 1999).

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 (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO) y los aerosoles (Seinfeld y Pandis, 1998). Dicha denominación nace del manejo ambiental de ciudades contaminadas basada en la identificación de un conjunto de trazas cuyos efectos sobre la salud humana han sido profusamente constatados bajo criterio epidemiológicos.

Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa la salud de humanos, animales, plantas o vidas microbianas; dañan materiales, o interfieren con el disfrute de la vida y el uso de propiedades (Henry y Heinke, 2001). En ciertos casos no controlamos las emisiones de manera apropiada. Debemos depender entonces de su dispersión y de los subsecuentes procesos naturales de limpieza de la atmósfera para evitar concentraciones excesivas de contaminantes, las cuales causarían efectos indeseables.

En todo el mundo, se ha puesto énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes a niveles en los cuales no se observan efectos en la salud. En Estados Unidos los niveles establecidos para proteger la salud humana se describen como *estándares primarios de calidad del aire*. Los estándares secundarios se establecen como base en los efectos que ocurren en plantas y animales o también en el daño a materiales (Henry y Heinke, 2001).

El control de la contaminación del aire no siempre es fácil, por qué no es práctico eliminar todas las emisiones de un contaminante específico. Por otra parte, es razonable esperar un control de las emisiones hasta el nivel más bajo posible congruente con la tecnología disponible y dentro de los límites de un costo razonable. En la práctica suelen establecerse límites o estándares de control en lugar de estándares de calidad del aire ambiental, porque para un organismo de control es más fácil hacerlos respetar, aunque en realidad son deseables los segundos.

Es importante considerar que éstos no son los únicos contaminantes, pero sí son aquéllos 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 el Perú, los límites máximos permisibles de los contaminantes criterios y los estándares primarios de calidad del aire, están normados por el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. En la Tabla 3, se presentan los contaminantes criterio para

los cuales existen estándares primarios de calidad del aire y su máxima concentración permitida.

2.2.3. La Modelación

La modelación, en los últimos años, se ha convertido en una herramienta habitual de diversas disciplinas que buscan explicar o reproducir sus respectivas observaciones. Es así como Higashi y Burns 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”*. (Higashi y Burns, 1991)

La tarea de la modelación es determinar los resultados o predecir lo que podría ocurrir a un sistema a partir de un conjunto de datos de entrada, tal como se muestra en la Figura 2.

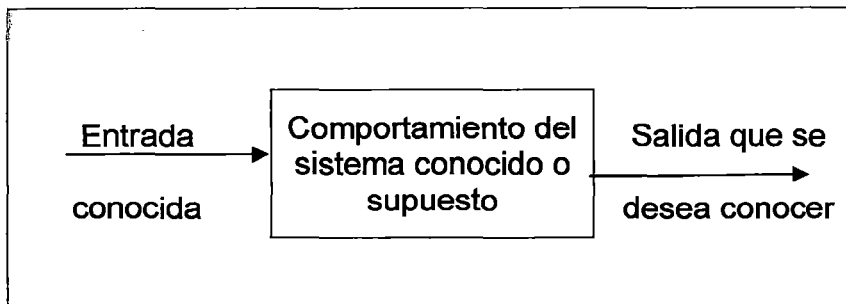


Figura 2. Concepto de modelación simplista (Kiely, 1999)

Por ejemplo, supongamos que se desea modelar un contaminante descargado a la atmósfera a través de una chimenea. Los datos de partida serán la altura de la chimenea, la tasa de emisión del contaminante, las condiciones meteorológicas, la topografía del terreno, las concentraciones basales, etc. Mientras que los resultados esperados serán los niveles del contaminante a una determinada distancia de la fuente o las tasas de deposición del contaminante sobre el terreno.

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

La modelización de los procesos ambientales y de transporte de contaminantes atmosféricos se ha convertido en una labor esencial para el ingeniero y científico moderno. La variedad de problemas de ingeniería que pueden abordarse mediante la modelización es verdaderamente infinita. Existen modelos diseñados o paquetes de programas para casi cada tarea que se pueda plantear, ya sea el tratamiento de agua 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 el objeto de maximizar la mezcla y la dilución) o, por supuesto, la modelización de la calidad del aire (Kiely, 1999).

Una buena fuente de paquetes de software de dominio público y de bajo costo es EPA en EEUU. Los foros de ingeniería ambiental en internet también ofrecen sitios con software disponible. Los modelos físicos tradicionales de modelos ripiaros se han sustituido mayoritariamente por modelos informáticos, principalmente debido a su bajo costo, a la facilidad y a la gran velocidad con la que los problemas se pueden solucionar a partir de datos diferentes.

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 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.

La modelización se puede simplificar generalmente como se muestra en la Figura 3.

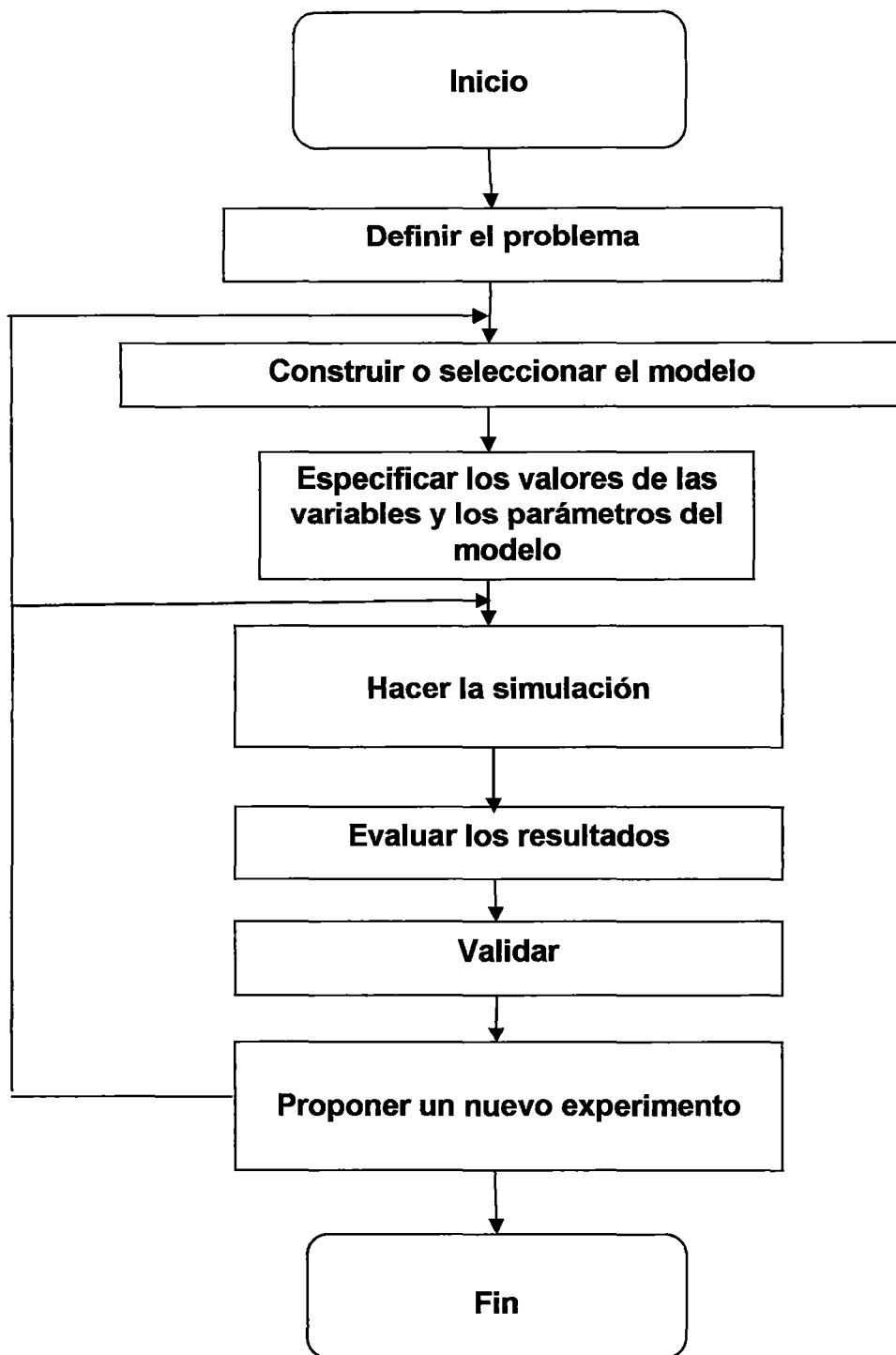


Figura 3. Principales fases de la modelación (Kiely, 1999)

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 los procesos que son esenciales y dominantes, reconocer el problema, especificar los objetivos de la modelación e identificar las 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. 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.

La ejecución del modelo propiamente tal, consiste en resolver analítica 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 (Benett, 2002).

Los principales pasos para el desarrollo o la aplicación de modelos de simulación de sistemas, se pueden resumir en la Figura 4.

Situación del problema y objetivos de estudio
Reconocimiento de una situación problemática concreta. Identificación de los objetivos de la modelación
Análisis del sistema
Aislar el sistema de interés del entorno de dicho sistema Evaluación de datos existentes Conceptualización del modelo
Síntesis del sistema
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
Análisis de la simulación
Evaluación e interpretación de los resultados simulados Nuevo examen de los análisis y síntesis del sistema

Figura 4. Pasos en el desarrollo y aplicación de modelos de simulación de sistemas (Kiely, 1999, adaptado de Tanji, 1994)

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.

2.2.4. 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 (transformaciones físicas y químicas, emisiones, remoción por lluvia, etc.).

El modelo conceptual y la ecuación que los modelos de dispersión resuelven se muestra en la Ecuación 1.

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

(Ecuación.1)

donde:

C : concentración [kg/m^3]

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

∇ : variación respecto del espacio

$\frac{\partial C}{\partial t}$: variación de la concentración con respecto

del tiempo.

$C \nabla \cdot \vec{v}$: advección de masa por efecto del viento

$\nabla \cdot (\langle c' \cdot \vec{v}' \rangle)$: divergencia del flujo de la traza.

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.

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.

2.2.5. Tipos de Modelos

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven la ecuación de continuidad descrita con anterioridad utilizando diversos métodos y aproximaciones (Seinfeld y Pandis, 1998; Jacobson, 2002; Brasseur *et al.*, 2003).

Según Mackenziel y Masten un modelo de dispersión es una descripción matemática del proceso meteorológico del transporte y dispersión que se cuantifica en términos del parámetro de la fuente y meteorológicos durante un tiempo determinado. Los cálculos numéricos que resultan producen estimaciones de concentraciones del contaminante particular para lugares y tiempos específicos. (Mackenziel y Masten, 2004)

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.

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 caracterizado 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 primario y secundario, 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 (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 (Tilmes 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 (Granier, 2003).

2.2.6. Modelo de Dispersión Gaussiano

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. En la Figura 5, se representa el perfil de un penacho que se eleva, procedente de una Chimenea de altura H_s . El contaminante se emite con un caudal Q y una velocidad de salida W . El penacho gana altura debido a su velocidad y flotabilidad antes de desplazarse en la dirección aguas abajo (sotavento) debido al viento que prevalece por las condiciones atmosféricas.

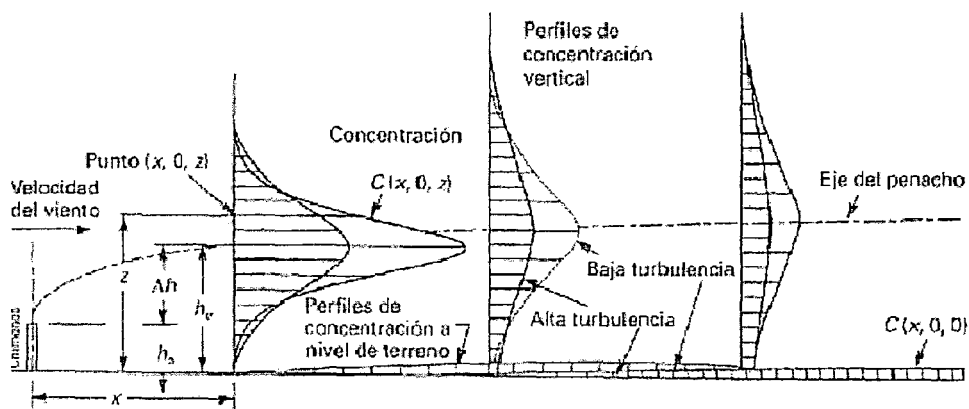


Figura 5. Elevación del perfil de concentración de un penacho gaussiano. (Kiely, 1999).

A medida que el penacho progresa en la dirección del viento, se asume que su perfil de concentración por difusión 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 6. La concentración de un contaminante en cualquier punto (x, y, z) es tal que:

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

Donde

- U : es la rapidez del viento,
- Q : es la tasa o caudal de emisión, y
- G : es la curva de Gauss en y - z , el plano normal a la dirección del viento, x .

En la Figura 6(a), se representa la curva normal (gaussiana), empleada para caracterizar un suceso gobernado por la probabilidad o procesos estocásticos. La altura central en el eje de ordenadas se denomina *media* y el ancho de la curva se describe como *desviación estándar*.

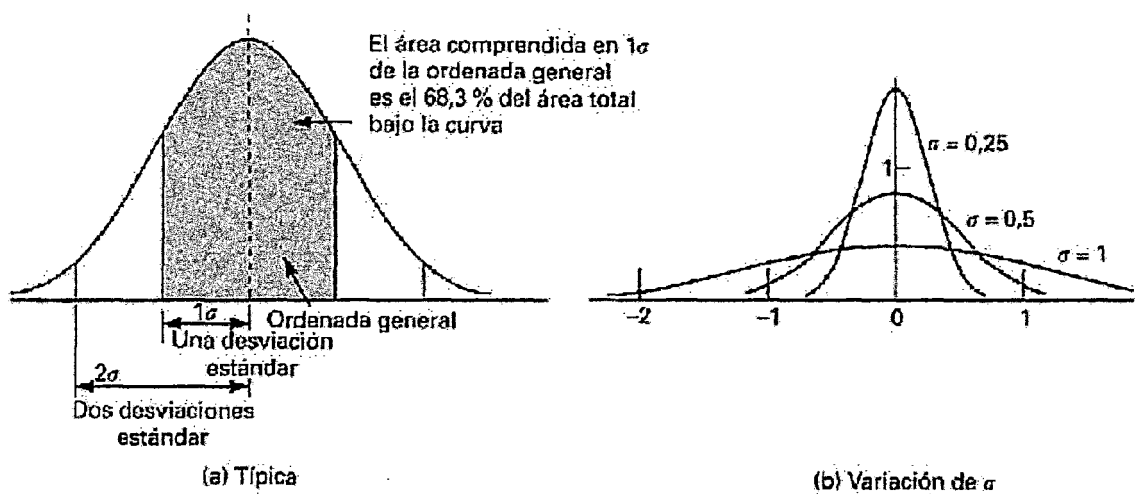


Figura 6. Curva de distribución gaussiana o normal (Kiely, 1999).

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

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

Análogamente en el eje de la Z

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

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 6(b) se muestra cómo el valor aumenta a medida que la distancia a partir del foco emisor aumenta.

La Figura 7(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 7(b)

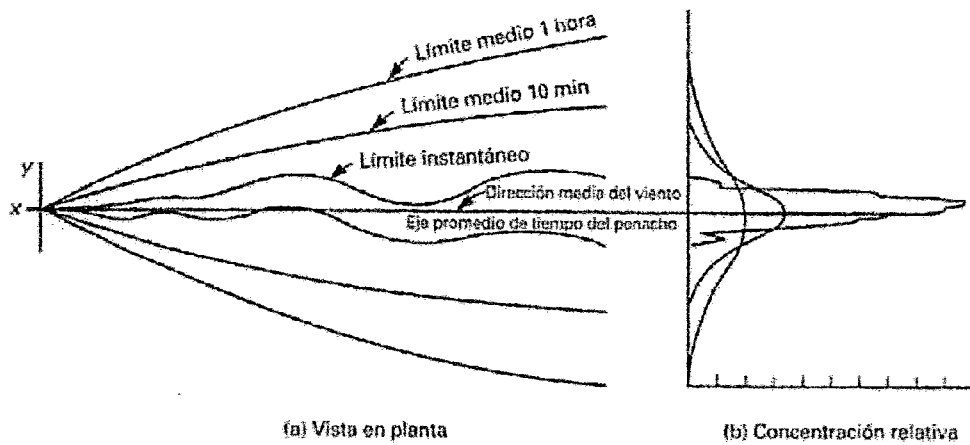


Figura 7 Desarrollo de series de tiempo de un penacho (Kiely, 1999, según Seinfeld, 1986).

2.2.7. La ecuación de continuidad

La concentración de un contaminante en un penacho en cualquier punto x, y o z puede calcularse con la siguiente ecuación de difusión siguiente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Para el sistema de coordenadas:

$x = 0$ en el foco (chimenea)

$y = 0$ en la línea central del penacho

$z = 0$ en el terreno

Si la altura efectiva del foco emisor es H , entonces la coordenada z en la línea central del penacho es $(z - H)$, donde z se mide a partir de la cota del terreno.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (\text{Ec. 6})$$

En el supuesto de conservación de masa y teniendo en cuenta que todo el contacto del penacho con el terreno es completamente reflejado, debe añadirse un segundo término, luego la Ecuación 6 se convierte en:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

σ_y y σ_z son los coeficientes de difusión,

Los valores de estos parámetros se obtienen a partir de las curvas de Pasquill-Gifford, conociendo la distancia aguas abajo (x) y el criterio de estabilidad.

El mayor interés radica en el conocimiento de la concentración al nivel del terreno ($z = 0$), así, la Ecuación 7 se reduce a:

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{(Ecuación 8)}$$

La concentración máxima a nivel del terreno se encuentra en la línea central del penacho, $y = 0$, de manera que:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{(Ecuación 9)}$$

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 6 se puede obtener de varias formas a partir de algunos supuestos y justificada a través de consideraciones semiempíricas. Como puede observarse en la Figura 8, donde se ejemplifica la distribución instantánea de concentraciones y promedios horarios.

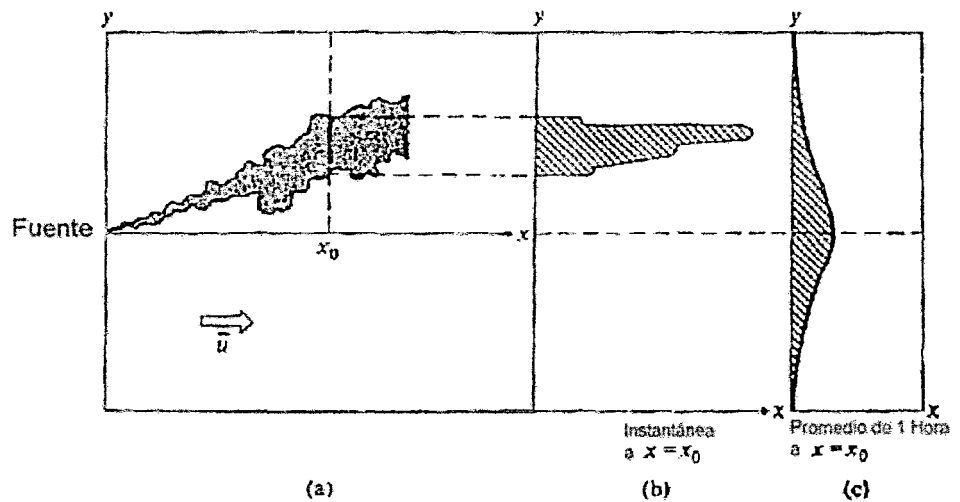


Figura 8. (a) Vista instantánea de un penacho, (b) perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento abajo de la fuente; (c) promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo. (Adaptado de Zannetti, 1990)

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 6 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 éstas, 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 los procesos y deben ser utilizados cuidadosamente. A la vez, van en desmedro de la mayor ventaja de los modelos gaussianos, esto es, su simplicidad.

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 hora, 24 horas o 1 año). Algunos modelos de dispersión pueden requerir de datos de entrada adicionales tales como la elevación de la fuente y el terreno, dimensiones de edificaciones próximas (por ejemplo, el ancho promedio del edificio y el espacio entre los edificios), distribución del tamaño de la partícula y sus correspondientes tasas de deposición y coeficientes de reflexión superficial.

b) Datos meteorológicos: La mayoría de los modelos gaussianos acepta datos meteorológicos de superficie que consideran la clasificación de estabilidad a cada hora, dirección y rapidez del viento, la temperatura atmosférica y la altura de la capa de mezcla. Es deseable que como mínimo se disponga de un año de datos meteorológicos. Sin embargo, en los casos 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 comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire e identificar posibles áreas dónde la concentración del contaminante está sobre los niveles deseables.

Es conveniente enfatizar que la modelación matemática de procesos atmosféricos complejos conlleva por esencia aproximaciones e incertidumbres que pueden verse incrementadas cuando faltan datos o son poco representativos (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. (WGB, 1998; Jacobson, 2002)

2.2.8. Predicción de concentraciones de contaminantes

El diseño de complejos industriales, la planeación de comunidades, la identificación de fuentes significativas, y la predicción de concentraciones de contaminantes en receptores seleccionados, usualmente se hace por medio de modelos matemáticos. Los datos importantes que se alimentan a los modelos de contaminación del aire incluyen, el tipo, carácter y distribución de las fuentes; así como los contaminantes emitidos, las variables meteorológicas que determinan el transporte, la dispersión y las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera. En el campo próximo (a menos de 20 km de la fuente), a excepción de ciertos contaminantes como el flúor, los oxidantes fotoquímicos y H_2S , generalmente podemos despreciar las reacciones químicas y los procesos de eliminación adquieren cada vez más importancia. Puesto que los modelos son

representaciones muy simplificadas de procesos reales, las predicciones de un solo valor se deben considerar dentro de un factor de 2 en el mejor de los casos. Podríamos considerar esta precisión como análoga al factor de seguridad que se emplea en el diseño civil y mecánico de estructuras y componentes de máquinas (Henry y Heinke, 2001).

Los contaminantes se transportan a la velocidad y dirección del viento. Al mismo tiempo, los contaminantes que se emiten en forma de columna o penacho desde una fuente continua o como una fumarada desde una fuente instantánea se dispersan por la acción de la turbulencia. En la velocidad del viento, su dirección y la turbulencia en la capa de aire desde la superficie terrestre hasta alrededor de un 1 km arriba de ella, en donde se emiten la mayor parte de los contaminantes, influye fuertemente la estructura vertical de temperaturas atmosféricas, la cual se describe como la *tasa de decaimiento* de la temperatura.

2.2.9. Selección y evaluación de modelos

La elección de un modelo para abordar la calidad del aire, ya sea para diagnóstico o pronóstico, merece un análisis detallado que debe integrar varios aspectos. Para ello el analista debe de 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 de contaminantes atmosféricos han sido discutidos por las agencias ambientales de Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y .2003a), Europa (EEA,

1999a y 1999b) y Argentina (CNEAA, 1997). La mayoría de ellas se pueden obtener gratuitamente desde el sitio en Internet de la US EPA (US EPA, 2003b), desde donde es posible descargar las rutinas ejecutables, sus manuales e incluso el código fuente.

2.3. Definición de términos

- ***Estudio de Impacto Ambiental (EIA)***: es considerado como el documento que detalla el proceso de Evaluación Ambiental, para una acción particular o tipos de acciones.
- ***Evaluación ambiental (EA)***: lo entendemos como un proceso de análisis continuo y de advertencia temprana, que protege a los recursos ambientales contra daños injustificados o no anticipados, que facilita información para la toma de decisiones sobre acciones propuestas y se orienta a prevenir los impactos significativos que deterioran las características del ambiente.

- ***Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)***: es un instrumento considerado como el documento que detalla el proceso de Evaluación Ambiental, para una acción particular o tipos de acciones.
- ***El Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)*** sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de impactos ambientales negativos.
- ***Partículas PM₁₀***: representan el material particulado de diámetro menor o igual a 10 micrómetros.
- ***El material particulado (MP)*** se define como las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, estas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño puede llegar hasta 100 micrómetros de diámetro aerodinámico. El MP se produce por la quema incompleta del combustible para motores diesel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón. El MP también se puede producir por la condensación de vapores ácidos y

compuestos orgánicos semivolátiles y mediante una serie de complejas reacciones del NO_2 y SO_2 en la atmósfera que finalmente forman nitratos y sulfatos, respectivamente.

El efecto de las concentraciones de MP en la atmósfera es amplio, afectando los sistemas respiratorios y cardiovascular en niños, adultos y a varios grupos susceptibles dentro de la población general. Se ha demostrado que su riesgo aumenta con la exposición y hay poca evidencia que plantee un umbral bajo el cual no se prevería efectos adversos para la salud.

- **Dióxido de azufre (SO_2):** gas incoloro e inodoro en concentraciones bajas y de olor acre en concentraciones altas. Es producido por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, como el carbón y el petróleo y por varios procesos industriales. El SO_2 y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera formando el trióxido de azufre, el cual se combina con agua para formar ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto

contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (PM_{10}) y 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$).

Los efectos de las concentraciones de SO_2 en la atmósfera están relacionados con alteraciones respiratorias, principalmente con afecciones a las mucosidades y los pulmones, provocando ataques de tos. Si bien este gas es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de personas con procesos asmáticos. provocando ataques de tos..

- ***Dióxido de nitrógeno (NO_2)***: gas de color marrón claro producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas, como ocurre en los automóviles y plantas termoeléctricas. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y el aire se oxida para formar principalmente óxido nítrico (NO) y en

menor proporción NO₂. El NO emitido se convierte en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar. El NO₂ se combina con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar ozono. También se combina con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de partículas PM₁₀ y PM_{2.5}.

- ***El óxido de nitrógeno (NO)*** es relativamente inofensivo, sin embargo, el NO₂ puede causar problemas respiratorios. Los estudios realizados sobre poblaciones humanas indican que la exposición a largo plazo puede provocar una disminución de la función pulmonar y aumentar el riesgo de aparición de síntomas respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema, especialmente en los niños y personas asmáticas. Aunque algunos estudios establecen una relación entre exposición al NO₂ y mortalidad, las pruebas existentes siguen siendo insuficientes para concluir que los efectos sobre la mortalidad sean atribuibles específicamente a la exposición a largo plazo al NO₂.

- **Sulfuro de hidrógeno (H_2S):** gas que se une a una molécula de agua para formar ácido sulfhídrico. Se estudia especialmente por su presencia en los gases derivados de la actividad exploratoria y de procesamiento de hidrocarburos y sus derivados en general. La exposición a niveles bajos de ácido sulfhídrico puede producir irritación de ojos, nariz y garganta. También puede provocar dificultades respiratorias en personas asmáticas. Exposiciones breves a concentraciones altas de ácido sulfhídrico (mayores de 100 ppm) pueden causar pérdida del conocimiento llegando hasta la muerte por sobreexposición. En la mayoría de casos, las personas que pierden el conocimiento parecen recuperarse sin sufrir otros efectos. Sin embargo, algunas personas parecen sufrir efectos permanentes, como dolor de cabeza, poca concentración, mala memoria y mala función motora. No se ha detectado efectos en personas expuestas en concentraciones que se encuentran en el ambiente.

- **Monóxido de carbono (CO):** gas incoloro e inodoro que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles como gas, gasolina, kerosene, carbón, petróleo o madera. El monóxido de carbono al ser respirado (aunque sea en moderadas cantidades) puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos, porque substituye al oxígeno de la hemoglobina en sangre. Una vez respirada una cantidad considerable de monóxido de carbono (75 % de la hemoglobina con monóxido de carbono) la única forma de sobrevivir es respirando oxígeno puro. Cada año un gran número de personas pierde la vida accidentalmente debido al envenenamiento con este gas. Las mujeres embarazadas y sus bebés, los niños pequeños, las personas
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs):** son a veces llamados VOC (Por sus siglas en inglés), son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono que se convierte fácilmente en vapor o en gas.

2.4. Marco Legal

2.4.1 Antecedentes internacionales

En Chile en la década de los años 90 se puso en vigencia 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, 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.

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, "Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto

Ambiental”, 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 (Bustos, 2004). 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, 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 requisito para obtener la autorización municipal, sin el perjuicio de otras autorizaciones que deba obtener (Bustos, 2004).

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.

En Argentina la única Provincia que posee legislación sobre el monitoreo de la calidad del aire y el uso de modelos de dispersión atmosférica es la Provincia de Buenos Aires; además de resoluciones del Ente Nacional Regulador de Electricidad (ENRE) y el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)

Estas normativas no exigen el uso de un modelo en particular, pero lo sugieren; es decir, piden datos similares a los que se obtienen con modelos determinados, como el SCREEN3 y el ISC-3, desarrollados por la USEPA y; aunque posee algunas adaptaciones, la normativa de la provincia utiliza criterios de esta agencia, dictando normas lo más rigurosas posibles, para evitar interpretaciones

tendenciosas por parte de las empresas, con el objeto de disminuir su controles de emisión.

Sin embargo, como se dijo anteriormente, en muchos casos los modelos no son adecuados; en el caso del SCREEN3 cuando existen masas de agua cercanas (como lagos) no arrojará datos exactos, ya que se modificaran las condiciones ambientales presumidas por el modelo.

Por lo tanto, la autoridad de aplicación deberá contar con honestidad y conocimiento de los conceptos teóricos que fundamentan a los modelos, para que las posibles incertidumbres no sean aprovechadas de forma tendenciosa por parte de las industrias para *cumplir* con lo establecido por la normativa.

Por otro lado, debido a que en la Argentina, exceptuando la provincia de Buenos Aires, las empresas no están obligadas a efectuar mediciones de contaminación atmosférica, estas estiman sus emisiones y la contaminación producida, a partir de las características del proceso y de los humos, factores de emisión, etc.

Sin embargo, estos datos son totalmente estimativos, por lo que es recomendable hacer un muestreo sencillo y económico, luego intensificar los estudios en los sectores más comprometidos; como sucede en Buenos Aires.

2.4.2 Antecedentes nacionales

En el Perú, mediante la Ley N° 27446, publicada el 23 de abril del 2001, se creó el *Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA*.

Esta Ley define el ámbito de aplicación, así, incorpora a las políticas, planes y programas de nivel nacional, regional y local que puedan originar implicaciones ambientales significativas; así como los proyectos de inversión pública, privada o de capital mixto, que impliquen actividades, construcciones, obras, y otras actividades comerciales y de servicios que puedan causar impacto ambientales negativos significativos.

No obstante estar establecido en su primera disposición final, que el Poder Ejecutivo, mediante Decreto Supremo, aprobará su Reglamento, en un plazo que no excederá los 45 días hábiles contados a partir de su publicación; es recién, el 25 de septiembre del 2010, que se publica en el diario oficial el Peruano el Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, mediante el cual se aprueba el Reglamento de la ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Impacto Ambiental.

En el Reglamento, se precisa que se debe de tomar en consideración la identificación y caracterización de los impactos ambientales, así como los riesgos a la salud humana y los riesgos ambientales del proyecto, en todas su fases y durante todo su periodo de duración, para tal fin, se deberá realizar el procedimiento siguiente: Identificar, evaluar, valorar y jerarquizar los impactos ambientales positivos y negativos que se generarán así como los riesgos inducidos derivados de la planificación, construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto, utilizando para ello las metodologías de

evaluación aceptadas internacionalmente, debiendo velar por: Se utilicen variables representativas para identificar los impactos ambientales, justificando la escala, el nivel de resolución, y el volumen de los datos, la aplicabilidad de la información *mediante el uso de modelamientos matemáticos* para la determinación de impactos negativos y positivos, y la definición de umbrales de dichos impactos

2.4.3 Marco legal ambiental

➤ Constitución Política del Perú

La norma legal de mayor jerarquía en el Perú es la Constitución Política (1993), que resalta entre los derechos esenciales de la persona humana, el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida. Igualmente, en el título III del Régimen Económico, Capítulo II del Ambiente y los Recursos Naturales (Artículos 66° al 69°), señala, que los recursos naturales renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, y mediante una ley orgánica se fija las

condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. Asimismo, promueve el uso sostenible de los recursos naturales. También, menciona que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

➤ ***Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales***

El Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (D.L. N° 613), insta en el país la obligación a las proponentes de proyectos, de realizar los EIA.

La norma menciona que los EIA solo podrán ser elaborados por las instituciones públicas o privadas debidamente calificadas y registradas ante la autoridad competente. Para el caso del Perú, la autoridad competente es el Ministerio de Energía y Minas –MINEM.

Con relación a la protección del ambiente, señala que para efectos de conciliar las actividades de construcción y operación de los proyectos con el medio ambiente, el contenido de los EIA debe considerar la descripción de la actividad propuesta, las implicancias

ambientales atribuibles a su ejecución y las medidas necesarias para evitar o reducir los daños que pudieran ocasionar sobre los componentes del medio ambiente a niveles tolerables. Para efectos de su publicación el EIA debe incluir un resumen del estudio.

➤ ***Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental***

La Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) (Ley N° 27446), publicada el 23 de abril del 2001, reconoce como Organismo coordinador del SEIA al CONAM (hoy al Ministerio del Ambiente). La ley, tiene como objetivo principal, crear el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada y establecer mecanismos que aseguren la participación ciudadana en el proceso de evaluación ambiental.

Asimismo, incorpora la obligatoriedad de la certificación ambiental; categorización de proyectos de acuerdo al riesgo ambiental, como nuevas instrumentos

jurídicos para el proceso de evaluación de los proyectos de inversión.

➤ ***Decreto Supremo 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental***

En los anexos III y IV, del Decreto Supremo 019-2009-MINAM, se establecen los términos de referencia básicos para estudios de impacto ambiental semi detallados (EIA-sd), categoría II y detallados. (EIA d), categoría III.

En ambos, se establece en sus numerales 5 de la Caracterización del Impacto Ambiental; la obligatoriedad de tomar en consideración la identificación y caracterización de los impactos ambientales, así como los riesgos a la salud humana y los riesgos ambientales del proyecto, en todas su fases y durante todo su periodo de duración, para tal fin, se deberá realizar el procedimiento siguiente: Identificar, evaluar, valorar y jerarquizar los impactos ambientales positivos y negativos que se generarán así como los riesgos inducidos

derivados de la planificación, construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto, utilizando para ello las metodologías de evaluación aceptadas internacionalmente, debiendo velar por: Se utilicen variables representativas para identificar los impactos ambientales, justificando la escala, el nivel de resolución, y el volumen de los datos, la aplicabilidad de la información *mediante el uso de modelamientos matemáticos* para la determinación de impactos negativos y positivos, y la definición de umbrales de dichos impactos :

➤ ***Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.***

El artículo 24° de esta Ley, señala que toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, están sujetas al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA);

➤ ***Decreto Legislativo 1013, Ley de Creación, del Ministerio del Ambiente.***

El literal f) del artículo 7° concordante con el artículo 16° de la Ley N° 27446, modificado por el artículo 1° del Decreto Legislativo N° 1078; establece que el Ministerio del Ambiente (MINAM) es el ente encargado de dirigir y administrar el SEIA;

Asimismo, el literal a) del artículo 17° de la Ley N° 27446, establece que le corresponde al MINAM, revisar, de manera aleatoria, los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) aprobados por las autoridades competentes, con la finalidad de coadyuvar al fortalecimiento y transparencia del SEIA.

➤ ***Resolución Ministerial N° 239-2010-MINAM,***

Mediante esta resolución se aprueba el procedimiento denominado "Disposiciones para la

Revisión Aleatoria de Estudios de Impacto Ambiental aprobados por las autoridades competentes"

➤ ***Guías Ambientales***

La estructura para la legislación ambiental aplicable a las actividades minero - metalúrgicas fue establecida por el Decreto Supremo N° 016-93-EM, Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgica, aprobado en mayo de 1993, posteriormente modificado en diciembre de 1993 por el Decreto Supremo N° 059-93-EM. De acuerdo con el Artículo 5 del Decreto Supremo N° 059-93-EM, el MINEM emitió la Resolución Directoral N° 004-94-EM-DGAA, publicada el 2 de marzo de 1994, que aprueba la publicación de las Guías de Monitoreo de Agua de la Actividad Minero–Metalúrgica (Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua) y la Guía de Monitoreo de Aire de la Actividad Minero-Metalúrgica (Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones). Estos lineamientos establecen los procedimientos y

metodologías para monitorear el impacto en el agua y el aire producto de las actividades minero –metalúrgicas y garantizar la calidad y suficiencia de los datos del monitoreo.

El 19 de julio de 1996, el MINEM publicó la Resolución Ministerial N° 315-96- EM/VMM, Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso, Partículas, plomo y arsénico presentes en las Emisiones Gaseosas Provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas. Esta resolución determina los criterios de emisiones para descargas de aire proveniente de las actividades minero-metalúrgicas.

Los niveles de las emisiones (medidas en la fuente) se fijan para el anhídrido sulfuroso, material particulado, plomo y arsénico. Los "Niveles de Calidad del Aire" temporales (normas de aire ambiental) han sido establecidos para los mismos constituyentes en áreas habitadas. La resolución también establece las normas

adoptadas para que otros sectores industriales las apliquen.

La legislación actual exige a los operadores mineros que mantengan programas de prevención y control ambiental permanentes, incluyendo el muestreo periódico y el análisis físico y químico para permitir la evaluación y control apropiados de los niveles de efluentes, emisiones y ruidos que resulten de los procesos industriales. A los operadores mineros se les exige por ley que mantengan registros actualizados de dichos programas y que los pongan a disposición del MINEM para su inspección.

➤ ***Reglamento para las Emisiones y Calidad del Aire***

La Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, publicada el 19 de julio de 1996, estableció los niveles máximos permisibles de contaminantes en las emisiones a la atmósfera provenientes de las actividades minero-metalúrgicas

El nivel Máximo Permisible para las emisiones de partículas menores que 10 micrones (PM_{10}) es $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para la emisión de arsénico es $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando se mide en cualquier momento.

Los niveles de la emisión de anhídrido sulfuroso fueron fijados sobre la base del azufre que ingresa al sistema y se aplican principalmente a las fundiciones.

Tabla 2: Niveles Máximos Permisibles para Emisiones Gaseosas

PARÁMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado (PM_{10})	100
Plomo	25
Arsénico	25

Fuente: MINEM

➤ **Niveles de Calidad del Aire Ambiental**

El 24 de junio del 2001, el D.S. N° 074-2001-PCM estableció los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire. Los ECA se definen como la máxima concentración de contaminantes permitidos en el aire, en su función de cuerpo receptor. En el Perú, existen actualmente niveles máximos permisibles de calidad del aire ambiental que fueron aprobados mediante. Estos estándares se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Estándares Primarios de calidad ambiental del aire en el Perú

Contaminantes	Período	Forma del Estándar		Método de Análisis ¹
		Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formato	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces al año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10,000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método Automático)
	1 hora	30,000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces al año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	Anual ²			Método para PM 10 (espectrofotometría de absorción atómica))
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas ²			Fluorescencia UV (método automático)

Fuente: Legislación ambiental del MINAM

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico.

NE: No Exceder

(¹) El método equivalente aprobado

(²) A ser determinado

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación realizada, de acuerdo con Hernández Sampieri, es un estudio de alcance descriptivo. Según este autor *“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Miden evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar”*. Asimismo, establece que: *“Las investigaciones formulan hipótesis, siempre y cuando se defina desde el inicio que su alcance será correlacional o explicativo, o en caso de un estudio descriptivo, que intente pronosticar una cifra o un hecho. Pero salvo en esta última situación, la mayor parte de las investigaciones descriptivas no desarrollan hipótesis antes de recolectar datos”* (Hernández, 2007)

El objetivo de la investigación es analizar la forma en que fueron tratadas cada una de las etapas o pasos que requiere la aplicación de un modelo dispersión de contaminantes en los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de inversión sometidos obligatoriamente al SEIA, de acuerdo con lo propuesto por Tanji, (1994) Kiely (1999) y Chase et al (2000), es decir, sin en la aplicación se consideró, las siguientes etapas:

- **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, y**
- **Validación de los resultados.**

Por consiguiente esta investigación, es de *tipo descriptivo* y tiene un *diseño no experimental*.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población: La población son todos los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de inversión, sean

públicos, privados o mixtos, sometidos al Sistema Nacional de Evaluación Impacto Ambiental – SEIA, a través de las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Asuntos Ambientales Energéticos del Ministerio de Energía y Minas, y que cuenten con Resolución Directoral de aprobación en el periodo comprendido entre del 01 de enero del 2005 al 31 de diciembre del 2010,

De la página Web del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2011), se puede obtener el número, la ubicación geográfica, los nombres de los proyectos y las resoluciones de aprobación; así tenemos, que en la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), durante el periodo objeto de nuestra investigación se han aprobado los estudios de impacto ambiental de **203** proyectos.

Con respecto a los estudios correspondientes al Sector Electricidad y el Sector Hidrocarburos, no se encuentra disponible esta información, en la página oficial

del Ministerio de Energía y Minas, por lo que a nuestra solicitud, la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE), nos proporcionó la siguiente información: en el sector electricidad son **185** y en el sector hidrocarburos son **397** proyectos aprobados durante este periodo de tiempo.

Por lo tanto, nuestra población es de **785** Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de inversión sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA.

3.2.2 Muestra: nuestra *muestra es no probabilística* y para determinarla, usaremos los siguientes criterios de inclusión y de exclusión:

Criterios de inclusión: Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental – SEIA, que cuenten con Resolución Directoral de aprobación.

Criterios de exclusión 1: Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos al SEIA, que no cuentan con el componente ambiental aire.

Criterios de exclusión 2: Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos SEIA, que cuentan con el componente ambiental aire y con Resolución Directoral de aprobación, Pero en ellos no se aplicaron Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

Habiendo establecido estos criterios solicitamos a las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Energéticos del Ministerio de Energía y Minas, los Estudios de los proyectos que hubiesen contemplado el componente ambiental aire y hubiesen aplicado Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

Como estas Direcciones Generales no tienen sistematizados los Estudios de acuerdo a lo solicitado, se tuvo que coordinar con funcionarios de estas Direcciones para obtener la documentación digital de estos estudios.

Se obtuvieron 17 Estudios de Impacto Ambiental: trece (13) de proyectos mineros y cuatro (04) de centrales térmicas para generación de electricidad, advirtiéndose al ser revisados que cinco (05) estudios de los proyectos mineros no habían aplicado Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos, los que fueron excluidos.

Por lo tanto, nuestra *muestra de estudio está conformada por doce (12) Estudios de Impacto Ambiental.*

3.3. Operacionalización de las variables

Variable de estudio: Nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en los estudios de impacto ambiental

Definición operacional: Incorporación de la descripción del problema, de los objetivos y la metodología de la modelación utilizada para construir o seleccionar el modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.

Tabla 4. Operacionalización de las variables

DIMENSIONES	INDICADORES	CATEGORÍAS								
Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los estudios de impacto ambiental	Descripción de la fuente emisora									
	Descripción de los contaminantes emitidos									
	Descripción de la zona en estudio									
	Identificación de los procesos que inciden en la dispersión de contaminantes									
	Establecimiento de objetivos de la aplicación del modelo									
Incorporación de la metodología utilizada para construir o seleccionar el modelo en los estudios de impacto ambiental	Concordancia entre el modelo y el problema en estudio y sus objetivos	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1010 1109 1138 1161">Nada aceptable</th> <th data-bbox="1138 1109 1271 1161">Poco aceptable</th> <th data-bbox="1271 1109 1397 1161">Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1010 1161 1138 1253">1</td> <td data-bbox="1138 1161 1271 1253">2</td> <td data-bbox="1271 1161 1397 1253">3</td> </tr> </tbody> </table>			Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3								
Justificación del modelo construido o seleccionado										
Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los estudios de impacto ambiental	Descripción de los valores de las variables y parámetros con la cuales será cargado el modelo									
	Control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar el modelo									
	Identificación de la condición más Desfavorable									
Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en los estudios de impacto ambiental	Presentación y discusión de resultados									
	Análisis de sensibilidad del modelo									
	Cumplimiento de objetivos de la modelación									
Incorporación de la validación de los resultados en la aplicación del modelo	Precisión de los resultados									

Fuente: Elaboración propia (adaptado de Bustos, 2004)

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Con la información de estos doce (12) estudios de impacto ambiental que conforman la *muestra*, se seleccionó y revisó exhaustivamente la documentación de cada uno de los proyectos; poniendo énfasis en la componente ambiental aire y en el anexo que contiene la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Para hacer el chequeo se utilizó *el instrumento validado* denominado “*lista de chequeo de la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en los EIA*”, diseñado para medir la incidencia de las variables que se indican en la Tabla 4; y que concuerdan con el enfoque metodológico propuesto por Tanji (1994), Kiely (1999) y Chase *et al* (2 000).

Para determinar la validez de contenido de la *lista de chequeo*, se utilizó el método *Delphi* (Anexo 1), el cual es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Para ello, se solicitó la colaboración de cuatro expertos de amplia experiencia: tres en

ciencias ambientales y un especialistas en metodología de la investigación (Anexo 2); a quienes se les requirió su opinión sobre cuestiones de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad de cada uno de los *ítems*. Las estimaciones de los expertos se realizaron en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Los resultados fueron analizados para examinar la concordancia entre los jueces. Luego, se procedió a realizar un análisis de fiabilidad al instrumento (Anexo 3).

En cada *ítem* se utilizó la prueba *binomial*, la cual se interpretó como significativa si el grado de concordancia (P) arrojó un valor menor a 0,05.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos serán procesados en forma directa, para lo cual construiremos matrices y se utilizará una hoja de cálculo de Excel. Para el análisis de los datos se aplicará estadística descriptiva, mientras que para la presentación de los resultados se confeccionarán tablas y gráficos estadísticos.

CAPÍTULO IV:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la revisión de los Estudios

4.1.1 Características generales de la muestra:

Los Estudios de Impacto Ambiental revisados, fueron doce (12). Siete (07) de proyectos mineros: PUCAMARCA, ALTO CHICAMA, ANTAMINA, ANTAPACAY, YANACOCKA, CERRO VERDE Y TORO MOCHO; uno (01) de una fundición: FUNSUR y cuatro (04) de centrales termoeléctricas: PAMPAS SALINAS, SANTA ROSA, CHILCA I Y TINKU (Anexo 4).

Los doce (12) declararon actividades que originan emisiones de contaminantes; sin embargo, no modelaron todos sus contaminantes. Todos los proyectos mineros modelaron PM_{10} y todos los energéticos modelaron óxidos de nitrógeno (NO_x). La Tabla 5 muestra los contaminantes modelados por cada proyecto.

Tabla 5. Contaminantes modelados por cada proyecto

contaminante	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
PM ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
PM _{2.5}		X										
Arsénico (As)	X	X					X					
Plomo (Pb)	X	X					X					
Mercurio (Hg)		X										
Dióxido de azufre (SO ₂)		X		X			X			X		
Oxidos de nitrógeno (NO _x);		X		X			X		X	X	X	X
Monóxido de carbono (CO)				X			X			X	X	
Dióxido de Carbono (CO ₂)							X					
O ₂							X					X
N ₂							X					

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de los EIA

4.1.2 Resultados de la aplicación de la Lista de Chequeo:

La aplicación de la *lista de chequeo* a nuestra muestra de doce (12) estudios, arrojó los resultados que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de todos los ítems para cada uno de los 12 EIA

Ítem	EIA 1	EIA 2	EIA 3	EIA 4	EIA 5	EIA 6	EIA 7	EIA 8	EIA 9	EIA 10	EIA 11	EIA 12
1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2
2	1	2	2	3	3	2	3	1	3	3	3	3
3	1	2	3	2	2	1	3	1	3	3	3	3
4	2	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	2
5	2	3	2	3	3	2	1	2	2	2	3	3
6	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3
7	3	3	2	3	3	1	3	2	2	2	3	1
8	2	2	2	2	2	1	1	2	3	3	2	1
9	1	1	1	1	1	1	3	1	3	3	3	3
10	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2
11	1	3	1	2	2	3	1	3	1	2	2	2
12	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
13	1	3	1	1	3	2	1	2	2	2	2	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
15	3	2	1	1	3	2	2	3	1	2	1	1
16	1	2	1	1	2	3	1	2	2	3	2	1
17	2	3	2	3	3	3	2	3	2	2	1	2
18	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
19	1	3	1	3	2	3	1	2	1	3	2	2
20	1	3	1	3	2	3	2	2	2	3	2	1
21	1	2	1	2	2	3	2	3	2	3	2	2
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3	1
24	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	2	1	2	1	1	1	3	1	2	2	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de los EIA

4.1.3 Resultados de la aplicación de la *prueba binomial* para cada ítem:

Teniendo estos resultados, realizamos una *prueba binomial* por cada ítem, para tal fin usamos el software estadístico SPSS, los resultados se muestran en las Tablas y los Gráficos siguientes:

Tabla 7. Resultados del ítem 1 ¿Se ha descrito el tipo de fuente?

	Nº	%
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	7	58,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

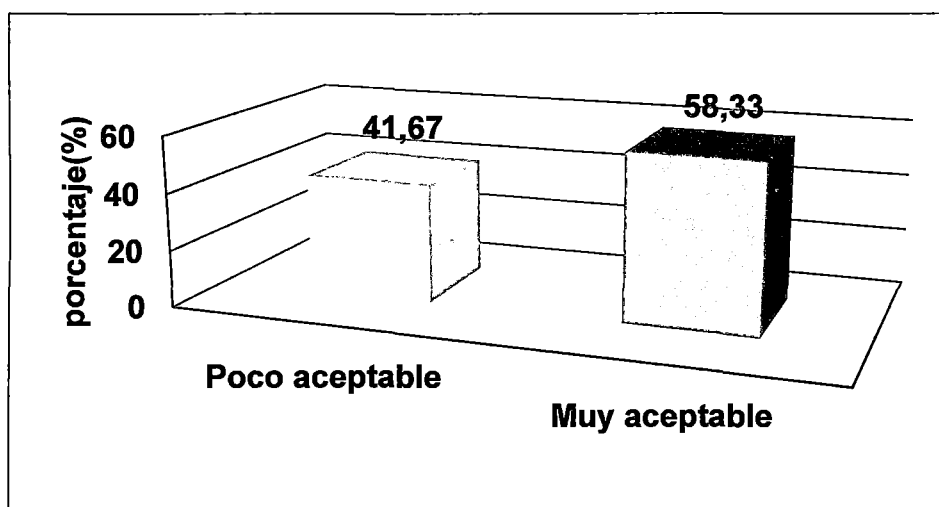


Gráfico 1. Porcentajes de las categorías del ítem 1

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 7 y en el Gráfico 1, se observa que en cuanto a la *descripción del tipo de fuente*, las que emiten o generan los contaminantes, en más de la mitad (58,30 %) fue *muy aceptable*, mientras que en el 41,70% se halló que fue *poco aceptable*. Para este ítem todos los estudios describieron sus fuentes, por lo que la categoría *nada aceptable*., no reporta ningún caso (0%)

Tabla 8. Resultados del ítem 2 ¿Se ha descrito la ubicación de la fuente?

	Nº	%
Nada aceptable	2	16,67
Poco aceptable	3	25,00
Muy aceptable	7	58,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

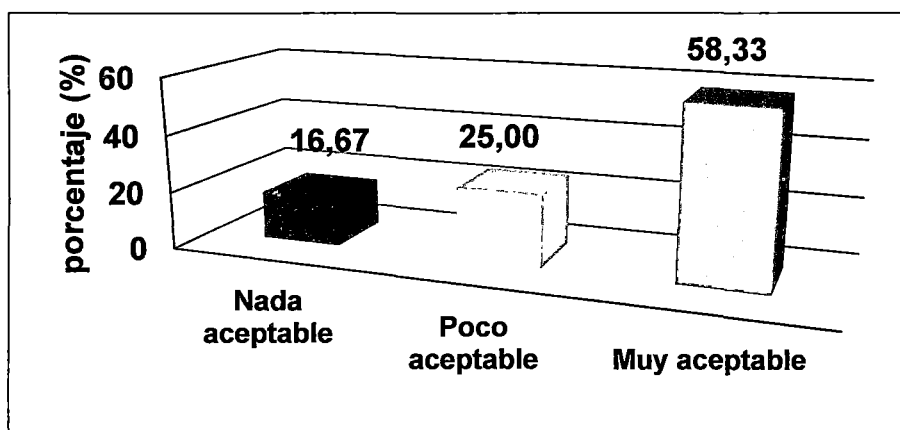


Gráfico 2. Porcentajes de las categorías del ítem 2

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 8 y en el Gráfico 2, se observa que en cuanto a la *ubicación de la fuente* que se debe describir previo a la aplicación de un modelo de dispersión, en más de la mitad (58,33 %) fue *muy aceptable*, mientras que en la cuarta parte se halló que fue *poco aceptable*. En contraste, en un 16,67 % fue *nada aceptable*.

Tabla 9. Resultados del ítem 3 ¿Se ha descrito la altura de la fuente?

	Nº	%
Nada aceptable	3	25,00
Poco aceptable	3	25,00
Muy aceptable	6	50,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

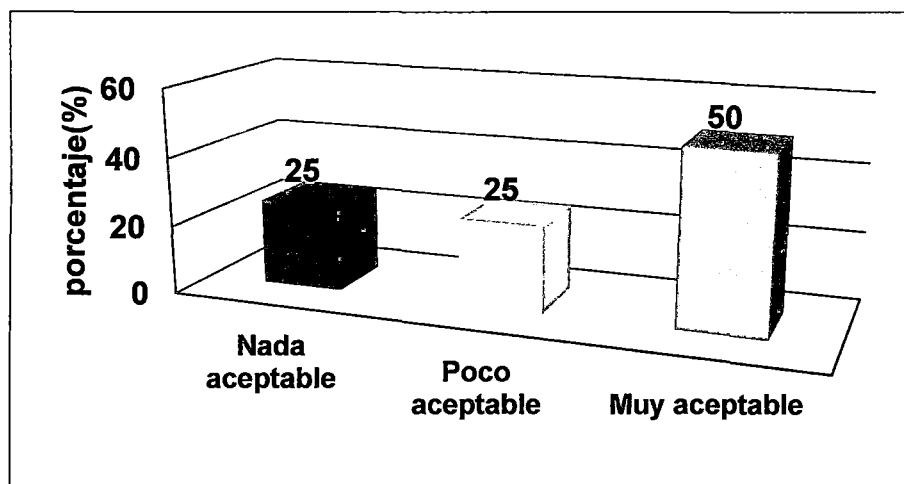


Gráfico 3. Porcentajes de las categorías del ítem 3

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 9 y en el Gráfico 3, se observa que en cuanto a la *altura de la fuente obre el nivel del terreno*, se determinó que la mitad (50,00 %) fue *muy aceptable*, mientras que una cuarta parte fue *poco aceptable* y la otra cuarta parte fue *nada aceptable*.

Tabla 10. Resultados del ítem 4 ¿Se ha descrito el punto de descarga?

	Nº	%
Nada aceptable	1	8,33
Poco aceptable	8	66,67
Muy aceptable	3	25,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

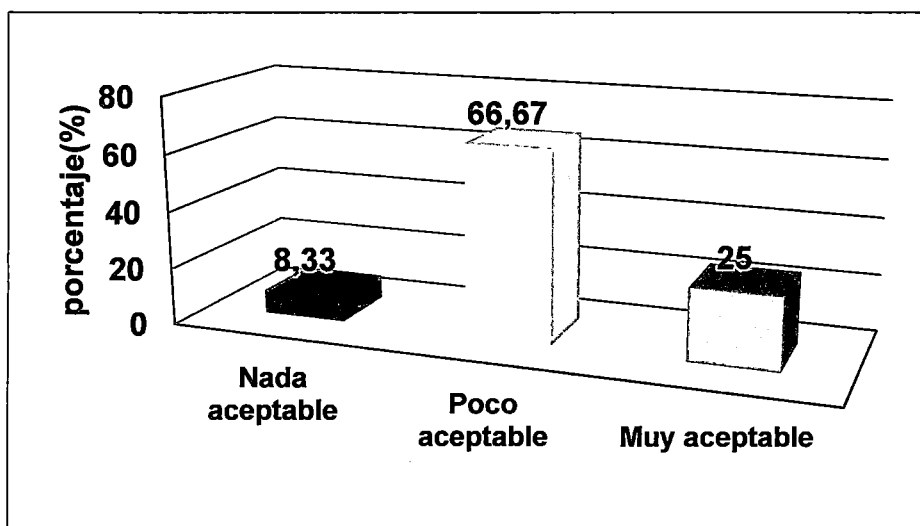


Gráfico 4. Porcentajes de las categorías del ítem 4

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 10 y en el Gráfico 4, se observa que en cuanto a la *descripción del punto de descarga*, una cuarta parte de los EIA han descrito en forma *muy aceptable*, mientras que en el 66,67% se halló que fue *poco aceptable*. En contraste, en un 8,33% de estos EIA calificó como *nada aceptable*.

Tabla 11. Resultados del ítem 5 ¿Se ha descrito el régimen de operación?

	Nº	%
Nada aceptable	1	8,33
Poco aceptable	6	50,00
Muy aceptable	5	41,67
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

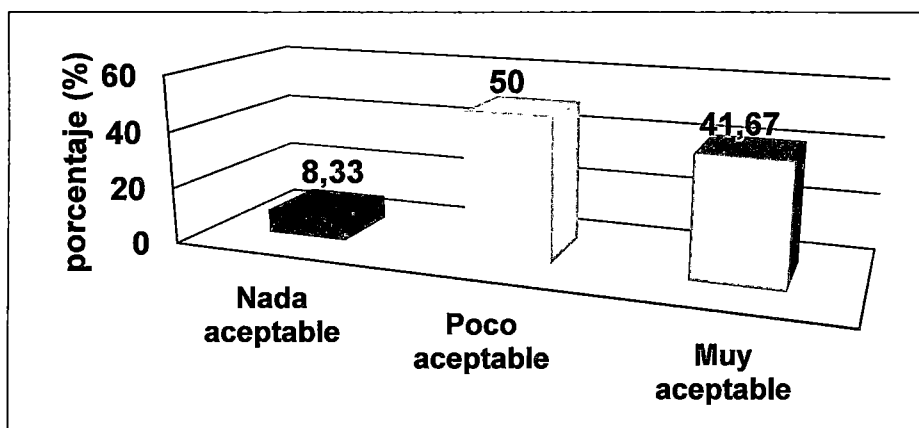


Gráfico 5. Porcentajes de las categorías del ítem 5

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 11 y en el Gráfico 5, se observa que en cuanto a la *descripción del régimen de operación* de las fuentes emisoras, la mitad (50,00 %) fue *poco aceptable*, mientras que el 41,67% resultó ser *muy aceptable*. En contraste, con el 8,33% que fue *nada aceptable*.

Tabla 12. Resultados del ítem 6 ¿Se ha descrito e identificado a los contaminantes emitidos?

	Nº	%
Poco aceptable	6	50,00
Muy aceptable	6	50,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

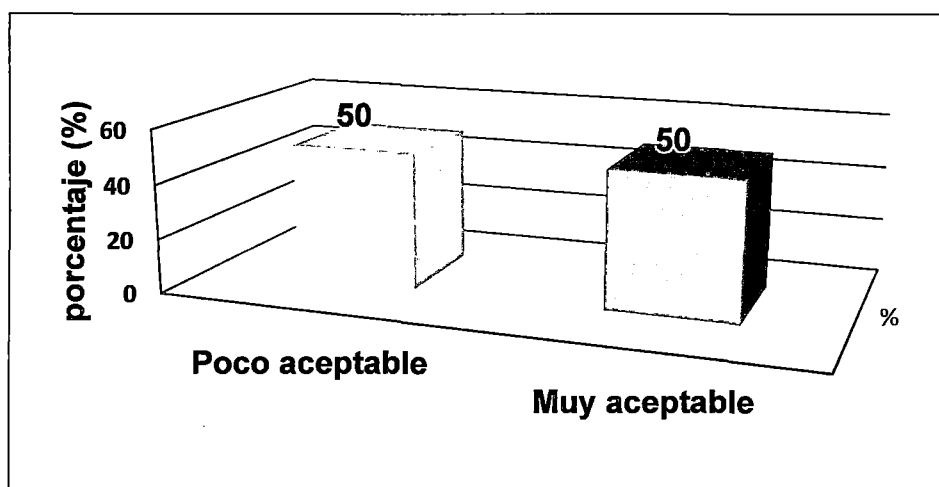


Gráfico 6. Porcentajes de las categorías del ítem 6

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 12 y en el Gráfico 6, se observa que en cuanto a la *descripción e identificación de los contaminantes emitidos* por las fuentes emisoras, la mitad (50%) fue *poco aceptable*, mientras que la otra mitad (50%) resultó ser *muy aceptable*. En este caso, ningún EIA estuvo dentro de la categoría *nada aceptable*.

Tabla 13. Resultados del ítem 7 ¿Se ha descrito la tasa de emisión?

	Nº	%
Nada aceptable	2	16,67
Poco aceptable	4	33,33
Muy aceptable	6	50,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

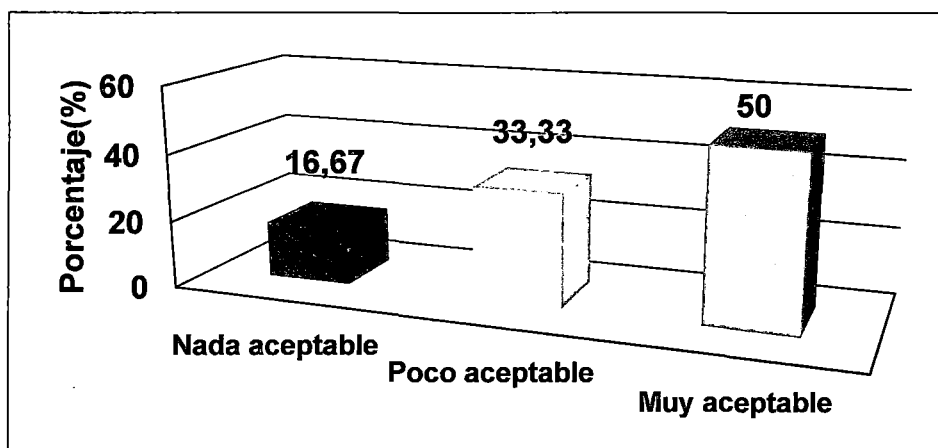


Gráfico 7. Porcentajes de las categorías del ítem 7

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 13 y en el Gráfico 7, se observa que en cuanto a la descripción de *la tasa de emisión* de los contaminantes por las fuentes emisoras, la mitad (50%) resulto ser *muy aceptable*, mientras que el 33,33% fue *poco aceptable*, En contraste, con el 16,67% que fue *nada aceptable*.

Tabla 14. Resultados del ítem 8 ¿Se ha descrito el caudal de vertido?

	Nº	%
Nada aceptable	3	25,00
Poco aceptable	7	58,33
Muy aceptable	2	16,67
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia.

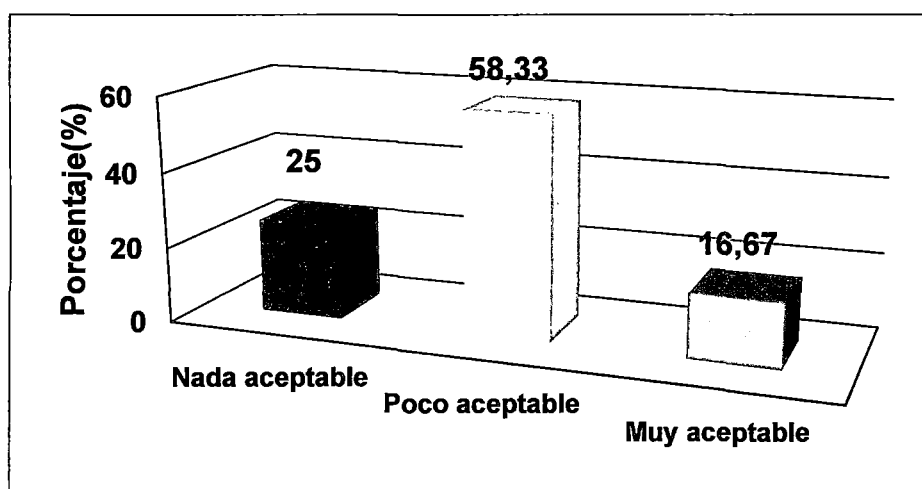


Gráfico 8. Porcentajes de las categorías del ítem 8

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 14 y en el Gráfico 8, se observa que en cuanto a la descripción del *caudal del vertido* de los contaminantes por las fuentes emisoras, más de la mitad (58,33%) resultó ser *poco aceptable*, mientras que un 16,67% fue *muy aceptable*, En contraste, con el 25% que fue *nada aceptable*.

Tabla 15 Resultados del ítem 9 ¿Se ha descrito la temperatura de emisión?

	Nº	%
Nada aceptable	7	25,00
Poco aceptable	5	58,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

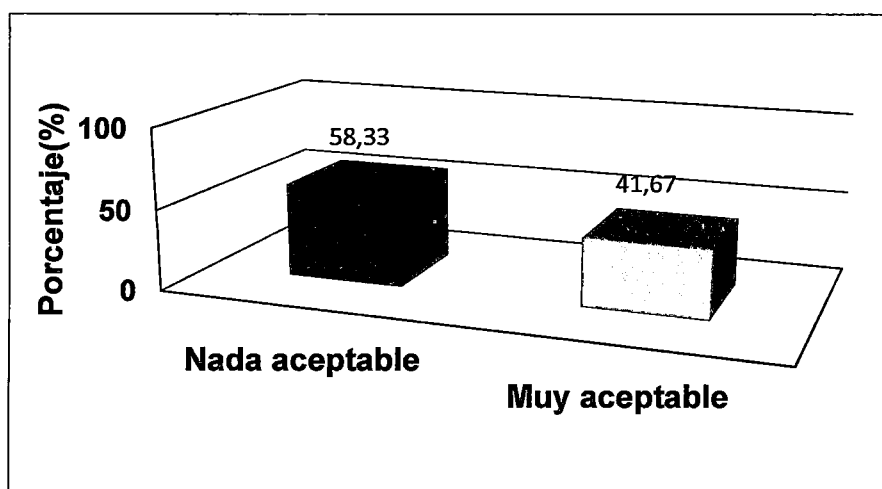


Gráfico 9. Porcentajes de las categorías del ítem 9

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 15 y en el Gráfico 9, se observa que en la descripción de la *Temperatura de emisión* de los contaminantes, más de la mitad (58,33%) resulto ser *nada aceptable*, mientras que un 41,67% fue *muy aceptable*. Ningún EIA calificó en la categoría *poco aceptable*, Esto se debe a que los proyectos mineros no describen la Temperatura de sus vertidos; pero los energéticos si lo hacen.

Tabla 16. Resultados del ítem 10 ¿Se ha descrito la meteorología de la zona?

	Nº	%
Nada aceptable	0	0
Poco aceptable	4	33,33
Muy aceptable	8	66,67
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

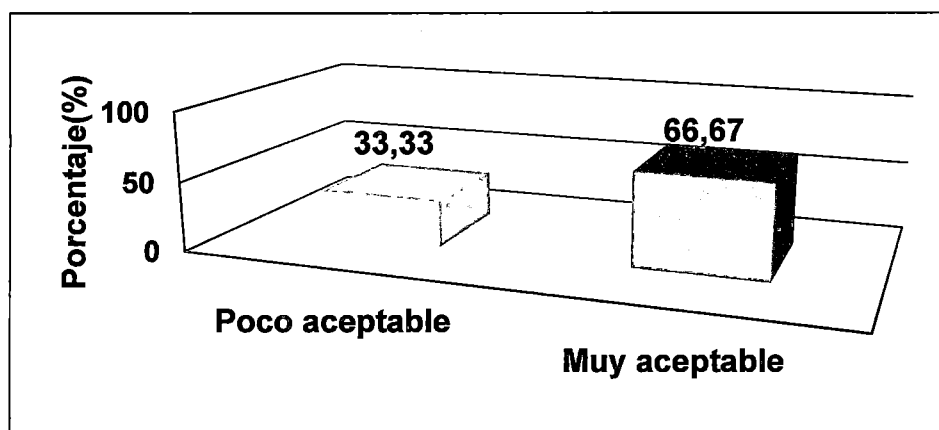


Gráfico 10. Porcentajes de las categorías del ítem 10

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 16 y en el Gráfico 10, se observa que en cuanto a la descripción de la *Meteorología de la zona*, aproximadamente las tres cuartas partes (66,67%) resultó ser *muy aceptable*, mientras que un 33,33% fue *poco aceptable*. No hubo proyecto en la categoría *nada aceptable*, Esto se debe a que todos los proyectos, sean mineros o energéticos, describen la meteorología de la zona.

Tabla 17. Resultados del ítem 11 ¿Se ha descrito la topografía de la zona?

	Nº	%
Nada aceptable	4	33,33
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	3	25,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

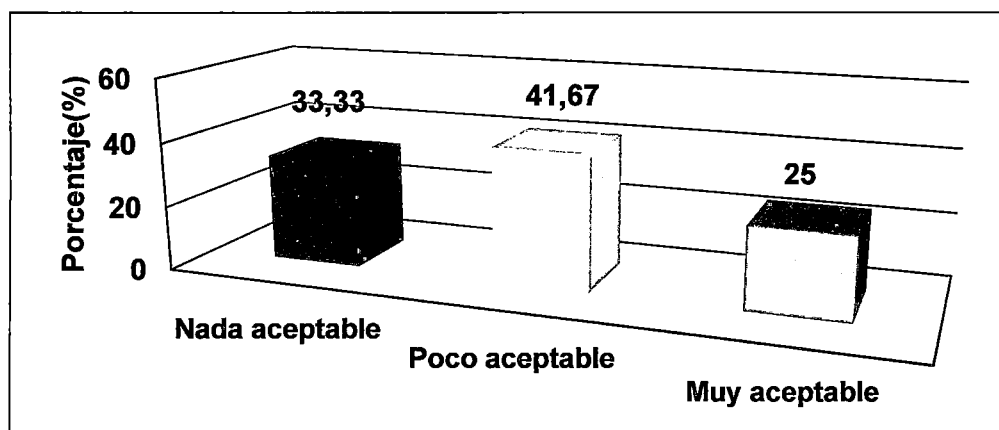


Gráfico 11. Porcentajes de las categorías del ítem 11

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 17 y en el Gráfico 11, se observa que en cuanto a la descripción de la *Topografía de la zona*, solo la cuarta parte (25%) resultó ser *muy aceptable*, mientras que un 33,33% fue *nada aceptable*. En contraste, se obtuvo la calificación de *poco aceptable*, del 41,67%, lo que significa que la mayoría de estudios hicieron una descripción de *poco aceptable* a *nada aceptable*.

Tabla N° 18. Resultados del ítem 12 ¿Se ha descrito el uso del suelo?

	Nº	%
Nada aceptable	10	83,34
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	1	8,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

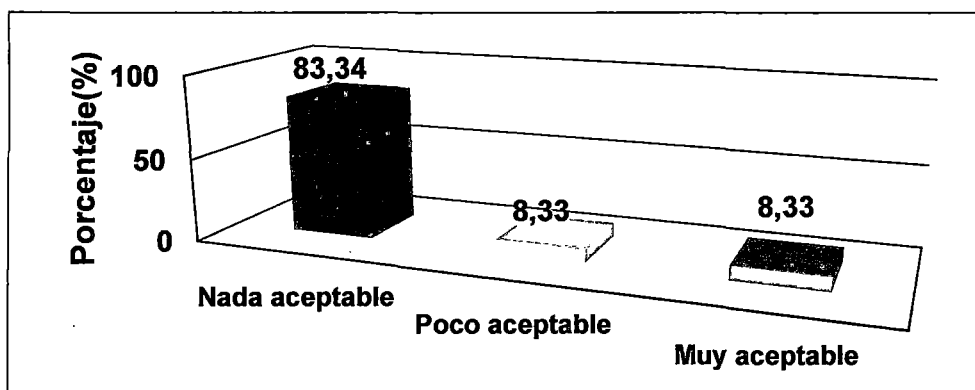


Gráfico 12. Porcentajes de las categorías del ítem 12

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 18 y en el Gráfico 12, se observa que en cuanto a la descripción del *Uso del suelo*, el 83,34% resultó ser *nada aceptable*, mientras que el 8,33% fue *muy aceptable* y *poco aceptable*. Esto significa que la mayoría de los EIA no realizó una descripción del uso del suelo.

Tabla 19. Resultados del ítem 13 ¿Se ha descrito la calidad del aire?

	Nº	%
Nada aceptable	5	41,67
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	2	16,66
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

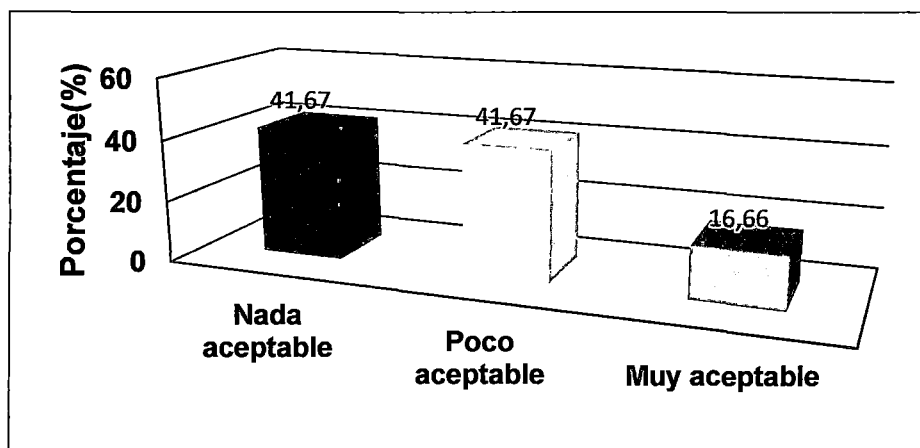


Gráfico 13. Porcentajes de las categorías del ítem 13

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 19 y en el Gráfico 13, se observa que en cuanto a la descripción de la *Calidad del aire*, el 41,67% resultó ser *nada aceptable* y el mismo porcentaje se obtuvo para la categoría *poco aceptable*; mientras que solo el 16,66% fue *muy aceptable*.

Tabla N° 20. Resultados del ítem 14 ¿Se ha descrito la presencia de edificaciones de altura?

	N°	%
Nada aceptable	10	83,33
Poco aceptable	2	16,67
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

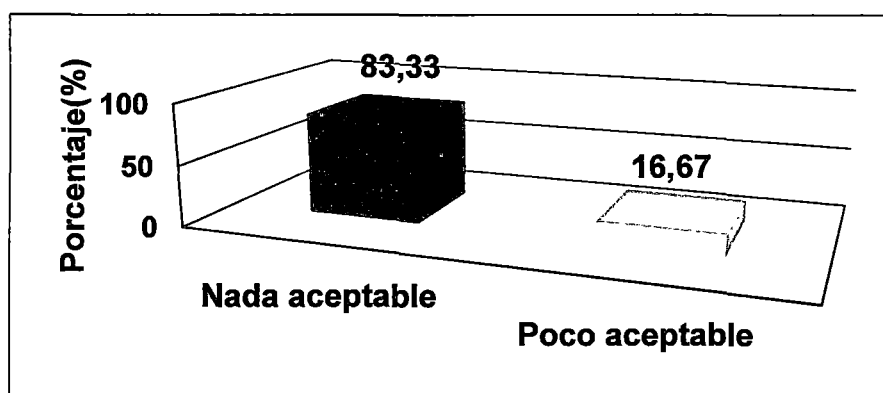


Gráfico 14. Porcentajes de las categorías del ítem 14

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 20 y en el Gráfico 14, se observa que en cuanto a la descripción de la *presencia de edificaciones de altura*, el 83,33% resultó ser *nada aceptable* y se obtuvo el 16,67% para la categoría *poco aceptable*; en este caso, ningún estudio calificó como *muy aceptable*.

Tabla 21. Resultados del ítem 15 ¿Se ha descrito la presencia de receptores críticos en la zona?

	Nº	%
Nada aceptable	5	41,67
Poco aceptable	4	33,33
Muy aceptable	3	25,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

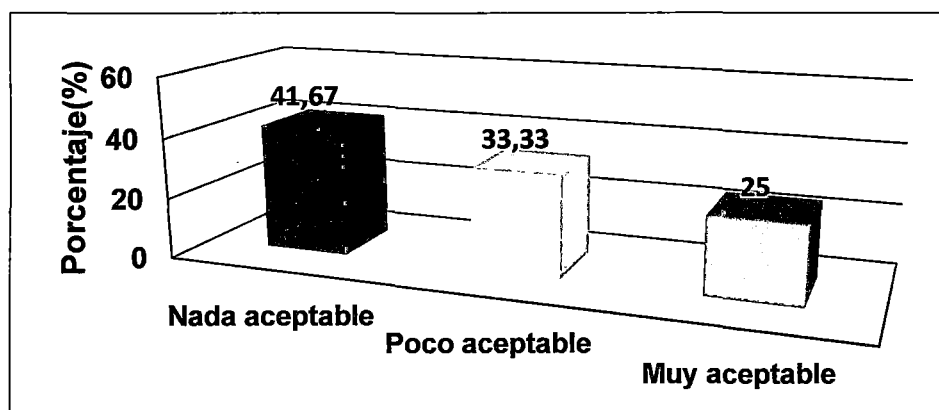


Gráfico15. Porcentajes de las categorías del ítem 15

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 21 y en el Gráfico 15, se observa que en cuanto a la descripción de *receptores críticos en la zona*, el 41,67% resultó ser *nada aceptable* y el 33,33% se fue *poco aceptable*; en este caso, la cuarta parte (25%) fue *muy aceptable*.

Tabla 22. Resultados del ítem 16 ¿Se identifican los procesos relevantes en la dispersión?

	Nº	%
Nada aceptable	5	41,67
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	2	16,66
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

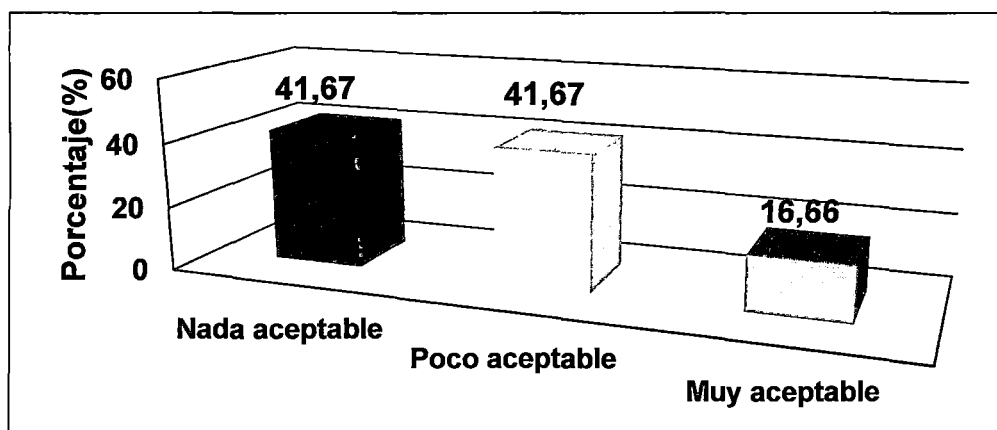


Gráfico 16. Porcentajes de las categorías del ítem 16

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 22 y en el Gráfico 16, se observa que en cuanto a la identificación de los *procesos relevantes en la dispersión de los contaminantes en estudio*, el 41,67% resultó ser *nada aceptable* y con el mismo porcentaje calificó la categoría *poco aceptable*; en este caso, solo el 16,66% fue *muy aceptable*.

Tabla 23. Resultados del ítem 17 ¿Se establecen los objetivos de la aplicación del modelo?

	Nº	%
Nada aceptable	1	8,33
Poco aceptable	6	50,00
Muy aceptable	5	41,67
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

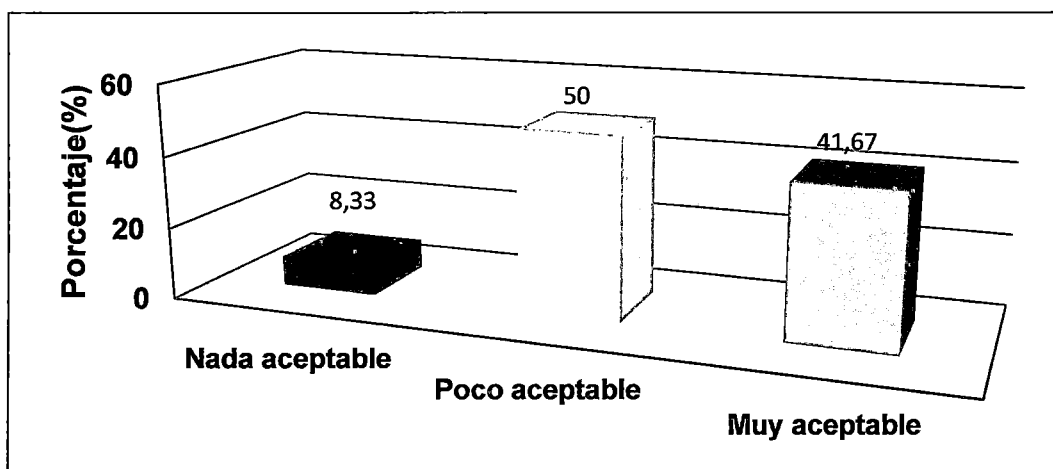


Gráfico 17. Porcentajes de las categorías del ítem 17

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 23 y en el Gráfico 17, se observa que en cuanto al establecimiento de *los objetivos de la aplicación* del modelo, un mínimo el 8,33% resultó ser *nada aceptable* y la mitad (50%) calificó como *poco aceptable*; sin embargo, se obtuvo un porcentaje considerable del 41,67% en la categoría de *muy aceptable*. Esto significa que la gran mayoría estableció los objetivos de la aplicación.

Tabla 24. Resultados del ítem 18 ¿Se ha descrito la metodología para construir o seleccionar el modelo?

	Nº	%
Nada aceptable	9	75,00
Poco aceptable	2	16,67
Muy aceptable	1	8,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

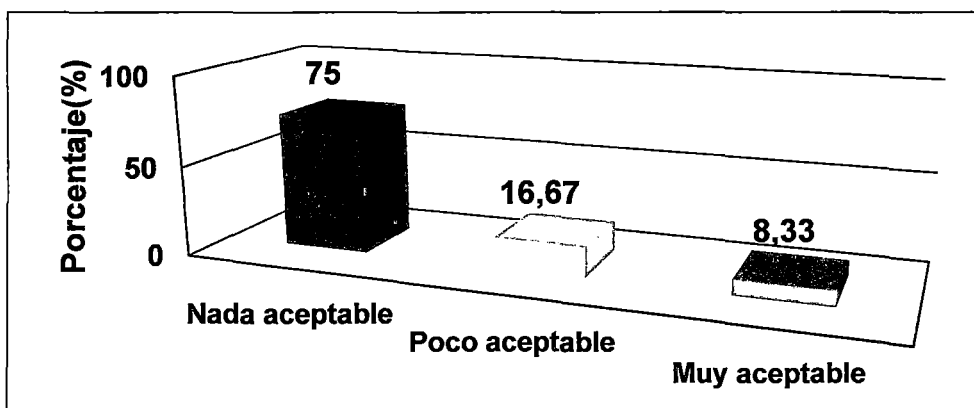


Gráfico 18. Porcentajes de las categorías del ítem 18

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 24 y en el Gráfico 18, se observa que en cuanto a la descripción de *la metodología para construir o seleccionar el modelo*, el 75% resultó ser *nada aceptable* y el 16,67% fue *poco aceptable*; solo el 8,33% calificó en la categoría de *muy aceptable*. Esto significa que aproximadamente 92% (75% y el 16,67%) no ha descrito la metodología. y solo el 8% si lo hizo.

Tabla 25. Resultados del ítem 19 ¿Se ha justificado el modelo construido o seleccionado?

	Nº	%
Nada aceptable	4	33,34
Poco aceptable	4	33,33
Muy aceptable	4	33,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

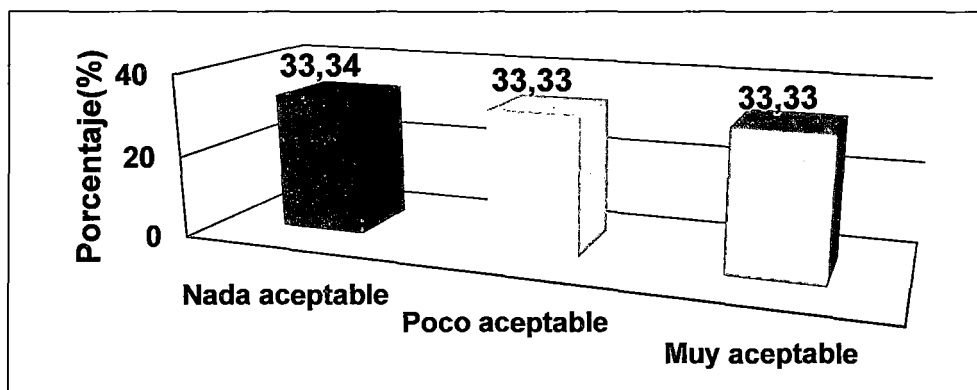


Gráfico 19. Porcentajes de las categorías del ítem 19

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 25 y en el Gráfico 18, se observa que en cuanto a que si se ha *justificado el modelo construido o seleccionado*, las tres categorías obtienen 33,33%. Como no se ha sido estricto en evaluar la justificación, se le da la proporción mayor a *nada aceptable*.

Tabla 26. Resultados del ítem 20 ¿Se han descrito los valores de las variables y los parámetros para la modelación?

	Nº	%
Nada aceptable	3	25,00
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	4	33,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

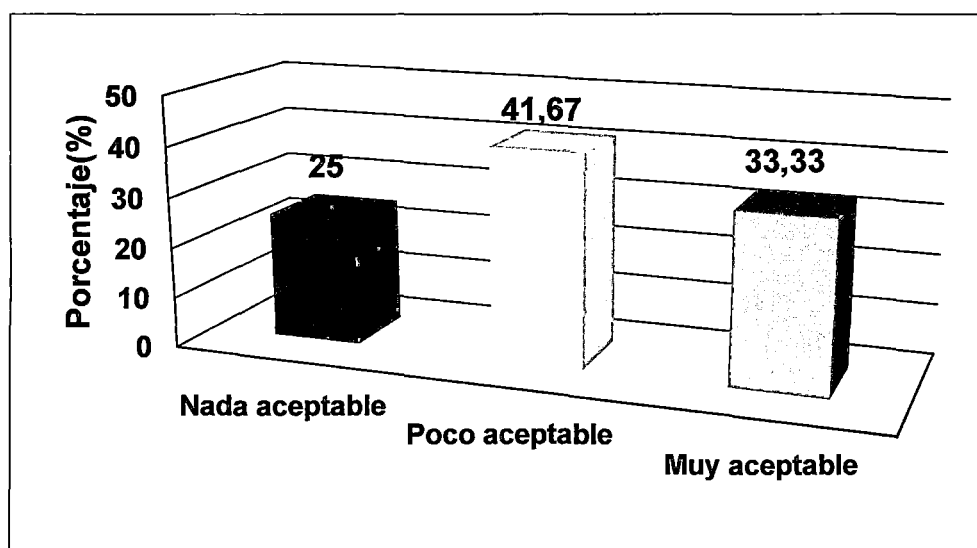


Gráfico 20. Porcentajes de las categorías del ítem 20

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 26 y en el Gráfico 20, se observa que en cuanto a que si se han descrito *los valores de las variables y los parámetros* para la modelación, el 41,67% resultó ser *poco aceptable* y el 25% calificó como *nada aceptable*; en contraste, un tercio (33,33%) calificó en la categoría de *muy aceptable*.

Tabla 27. Resultados del ítem 21 ¿Se ha identificado y proporcionado al modelo información en la calidad y cantidad requerida?

	Nº	%
Nada aceptable	2	16,67
Poco aceptable	7	58,33
Muy aceptable	3	25,00
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

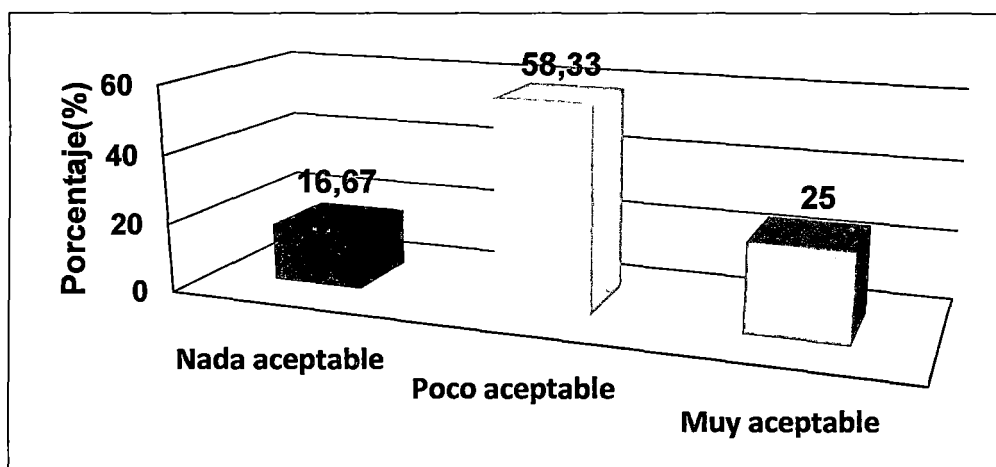


Gráfico 21. Porcentajes de las categorías del ítem 21

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 27 y en el Gráfico 21, se observa que en cuanto a que *si se han identificado y proporcionado al modelo información en la calidad y cantidad requerida*, el 58,33% resultó ser *poco aceptable* y el 16,67% calificó en la categoría *nada aceptable*; en contraste, un cuarto (25,00%) calificó como *muy aceptable*.

Tabla 28. Resultados del ítem 21 ¿Se ha identificado los valores de las variables y parámetros del modelo para identificar la condición más desfavorable sobre la calidad del aire?

	Nº	%
Nada aceptable	12	100,00
Poco aceptable	0	0
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

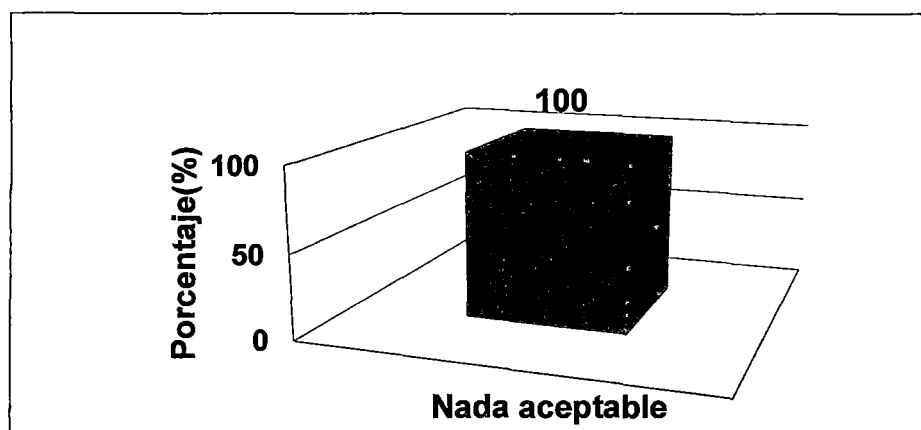


Gráfico 22. Porcentajes de las categorías del ítem 22

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 28 y en el Gráfico 22, se concluye con respecto a que si *Se ha identificado los valores que pueden tomar las variables y parámetros del modelo para identificar la condición más desfavorable sobre la calidad del aire, el 100% resultó ser nada aceptable.*

Tabla 29. Resultados del ítem 23 ¿Se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como las conclusiones a partir de estos?

	Nº	%
Nada aceptable	2	16,66
Poco aceptable	5	41,67
Muy aceptable	5	41,67
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

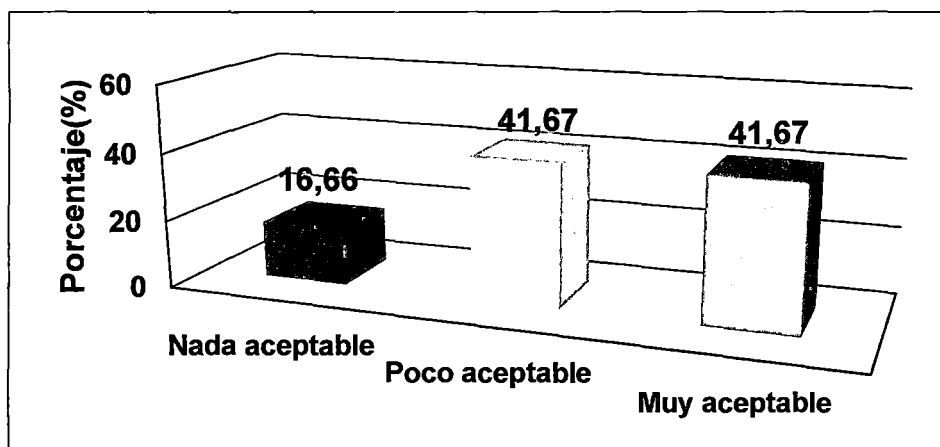


Gráfico 23. Porcentajes de las categorías del ítem 23

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 29 y en el Gráfico 23, se observa que en cuanto a que si se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como sus conclusiones, el 41,67% resultó ser *poco aceptable* y *muy aceptable*; en contraste, un 16,66% fue *nada aceptable*.

Tabla 30. Resultados del ítem 24 ¿Se ha discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo?

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	0	0
Muy aceptable	1	8,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

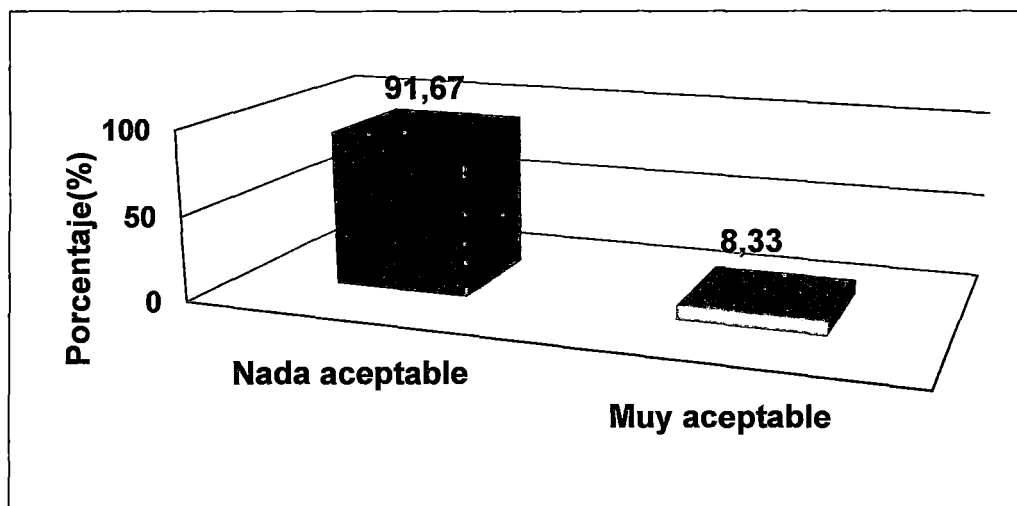


Gráfico 24. Porcentajes de las categorías del ítem 24

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 30 y en el Gráfico 24, se observa que en cuanto a que si *Se ha discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo a posibles variaciones en los valores utilizados para las variables y parámetros durante la modelación*, el 91,67% resultó ser *nada aceptable* y el 8,33% *muy aceptable*; en este caso no se encontró EIA que calificará en la categoría de *poco aceptable*.

Tabla 31. Resultados del ítem 25 ¿Se ha verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos?

	Nº	%
Nada aceptable	7	58,33
Poco aceptable	4	33,33
Muy aceptable	1	8,34
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

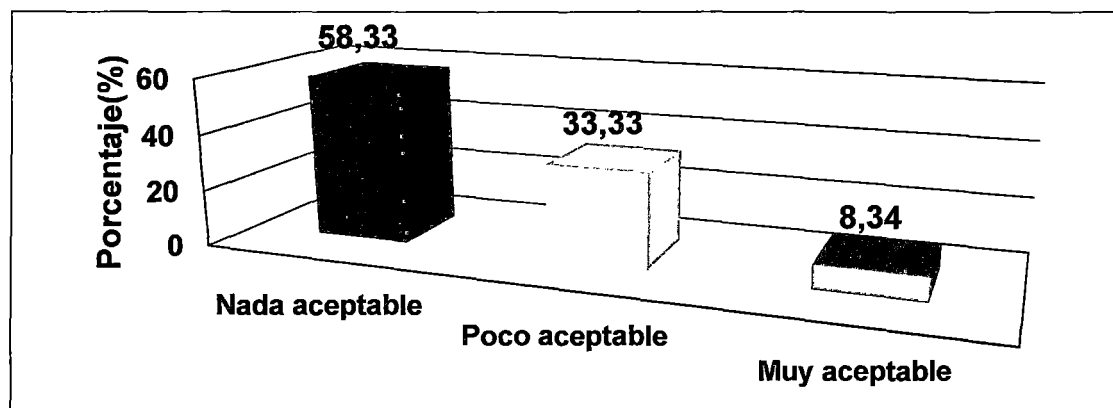


Gráfico 25. Porcentajes de las categorías del ítem 25

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 31 y en el Gráfico 25, se observa que en cuanto a que si se ha verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos, el 58,33% resultó ser *nada aceptable* y el 33,33% fue *poco aceptable*, en contraste solo 8,34% fue *muy aceptable*. Esto significa que, 92% (58,33% y el 33,33%) no ha verificado los objetivos y un mínimo 8%, si lo hizo.

Tabla 32. Resultados del ítem 26 ¿Se ha presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo?

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

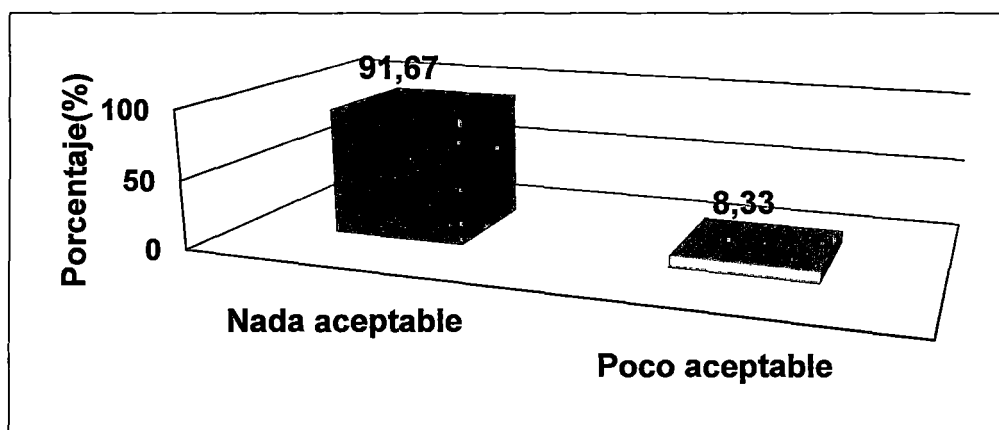


Gráfico 26. Porcentajes de las categorías del ítem 26

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 32 y en el Gráfico 26, se observa que en cuanto a que si *se ha presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo*, un contundente 91,67% resultó ser *nada aceptable* y en contraste solo 8,33% fue *muy aceptable*. Esto significa que aproximadamente 92% no ha discutido el grado de precisión.

4.2.2 Resultados de la aplicación de la *Prueba Binomial* para cada dimensión.

Posteriormente, realizamos una *prueba binomial* por cada una de las cinco (05) dimensiones, estableciendo puntos de corte para cada una de ellas, con el objeto de definir las escalas correspondientes, así tenemos:

A. Incorporación de la descripción del problema y objetivos de la modelación

Esta dimensión tiene diecisiete (17) *ítems* de los veintiséis (26) que contiene la lista de chequeo. Los puntos de corte son:

17 - 34 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

35 - 44 puntos = nivel medio (poco aceptable)

45 - 51 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los 12 EIA se muestran en la Tabla 33 y en el Gráfico 27.

Tabla 33. Resultados para la dimensión incorporación de la descripción del problema

	Nº	%
Nada aceptable	6	50,00
Poco aceptable	6	50,00
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

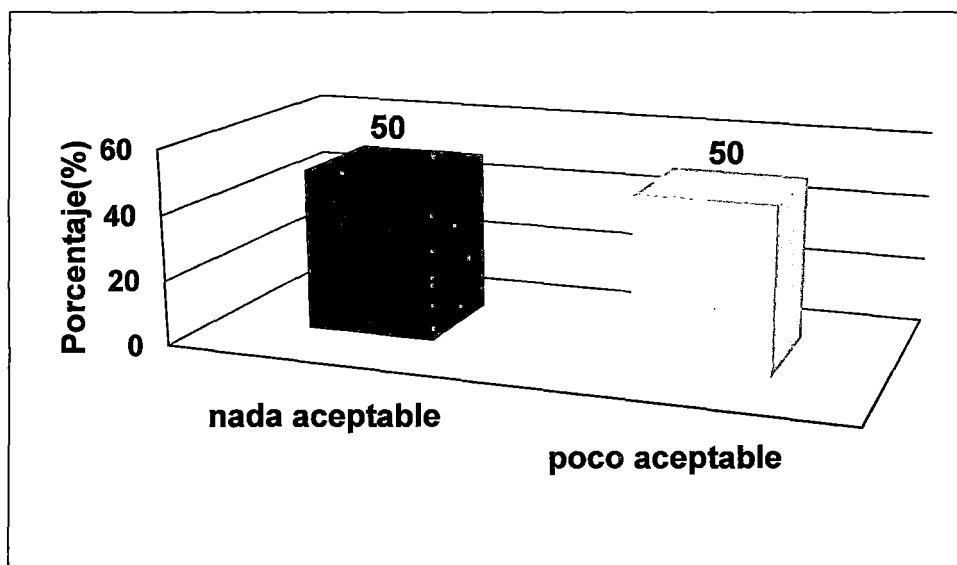


Gráfico 27. Porcentajes de las categorías para la dimensión incorporación de la descripción del problema

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 33 y en el Gráfico 27, se observa que al evaluarse los 17 *ítems* en cuanto a que si se ha incorporado la descripción del problema y objetivos de la modelación, se obtiene que el 50,00% resultó ser *nada aceptable* y el mismo porcentaje se obtuvo para *poco aceptable*. Esto significa que siendo los primeros *ítems* elementales, solo se quedan entre *nada aceptable* y *poco aceptable*; ningún estudio calificó de *muy aceptable*.

B. Incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo

Esta dimensión considera dos (02) *ítems* de los veintiséis (26) *ítems* totales que contiene la lista de chequeo y se consideró los siguientes puntos de corte:

2,0 - 4,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

4,1 - 5,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)

5,1 - 6,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los 12 EIA se muestran en la Tabla 34 y en el Gráfico 28.

Tabla 34. Resultados para la dimensión Incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	0	0
Muy aceptable	1	8,33
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

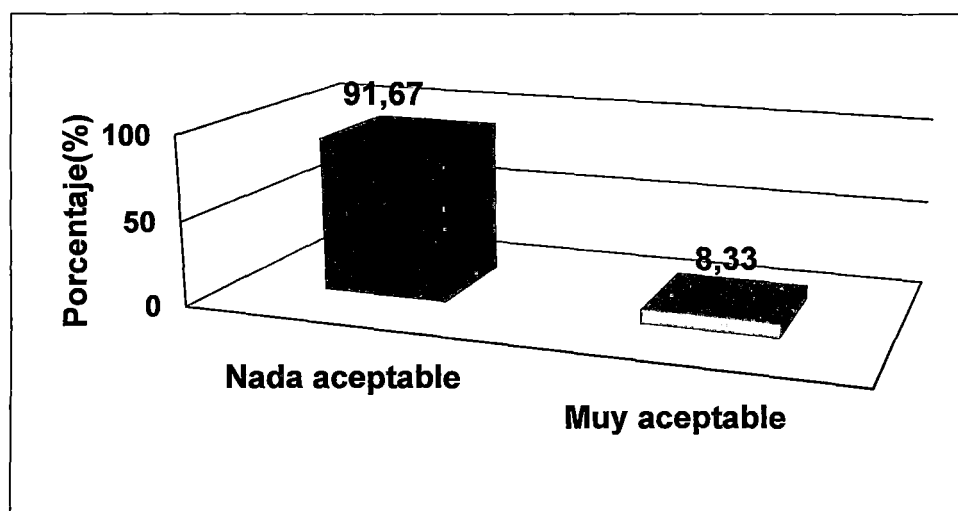


Gráfico 28. Porcentajes de las categorías para la dimensión Incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 34 y en el Gráfico 28, se observa que en cuanto a que si se ha incorporado la metodología usada para la selección y construcción del modelo, un contundente 91,67% resultó ser *nada aceptable* y en contraste solo 8,33% fue *muy aceptable*. Esto significa que la gran mayoría, aproximadamente 92% no ha incorporado una metodología para la selección y construcción del modelo.

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. 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 éstos fueron desarrollados por la US EPA y en que fueron ampliamente utilizados en USA y en otros Estudios de Impacto Ambiental en Perú. Si bien, lo anterior es cierto, los analistas

no consideraron que la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) 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.

C. Incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros.

Esta dimensión considera tres (03) *ítems* de los veintiséis (26) *ítems* totales que contiene la lista de chequeo y se consideró los siguientes puntos de corte:

3,0 - 6,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

6,1 - 8,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)

8,1 - 9,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los 12 EIA se muestran en la Tabla 35 y Gráfico 29.

Tabla 35. Resultados para la dimensión Incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros

	Nº	%
Nada aceptable	10	83,33
Poco aceptable	2	16,67
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

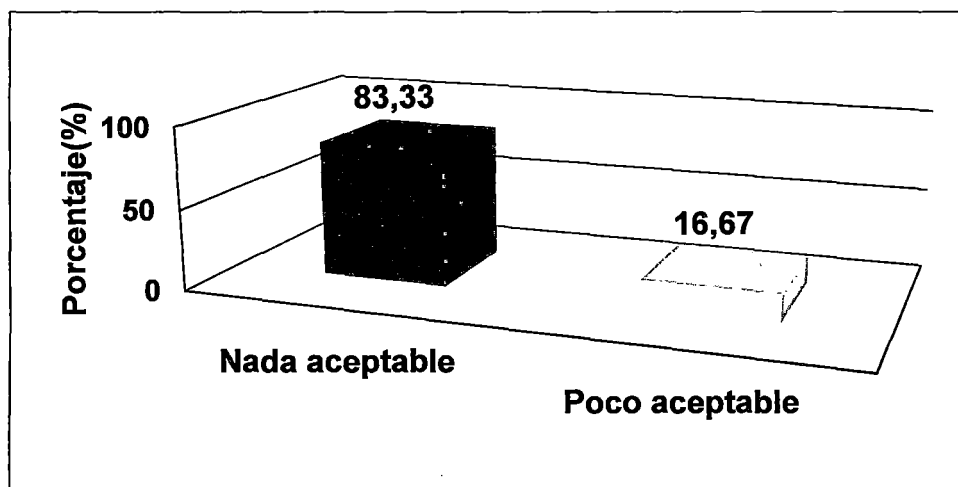


Gráfico 29. Porcentajes de las categorías para la dimensión Incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 35 y en el Gráfico 29 , se observa que en cuanto a que si *Se ha Incorporado el análisis de los valores de las variables y los parámetros del modelo en los estudios*, un contundente 83,33% resultó ser *nada aceptable* y en contraste solo un 16,67% fue *poco aceptable*. Esto significa que la gran mayoría, aproximadamente 84% no ha descrito los valores de las variables y los parámetros con los que se cargó el modelo, ni se ha realizado un control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar al modelo; más aún no se realizó la identificación de la condición más desfavorable de al calidad del aire.

D. Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo.

Esta dimensión considera tres (03) *ítems* de los veintiséis (26) *ítems* totales que contiene la lista de chequeo y se consideró los siguientes puntos de corte:

3,0 - 6,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

6,1 - 8,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)

8,1 - 9,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los 12 EIA se muestran en la Tabla 36 y Gráfico 30 siguientes:

Tabla 36. Resultados para la dimensión Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

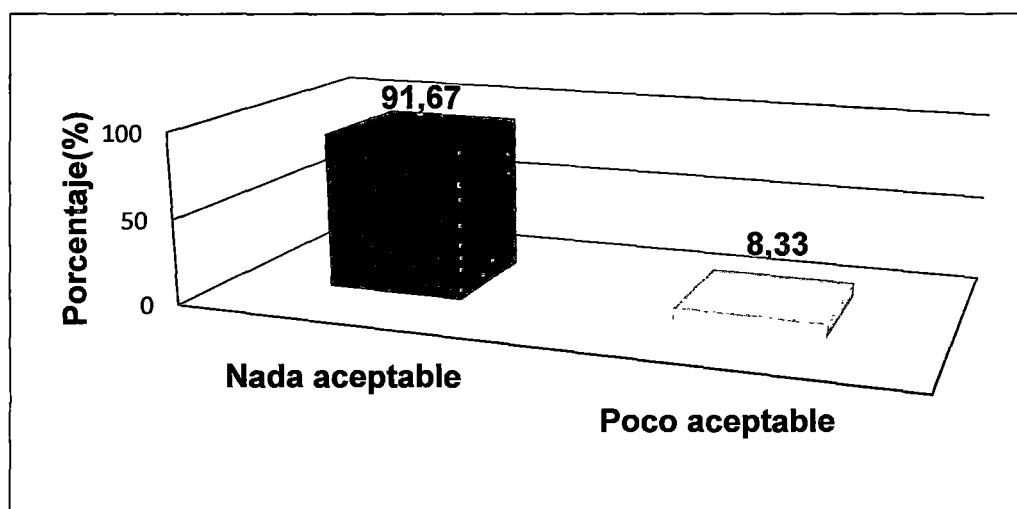


Gráfico 30. Porcentajes de las categorías para la dimensión Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 36 y en el Gráfico 30, se observa que en cuanto a que si *se ha incorporado el análisis de los resultados de la aplicación del modelo*, un contundente 91,67% resultó ser *nada aceptable* y en contraste solo 8,33% fue *poco aceptable*. Esto significa que la gran mayoría, aproximadamente 92% no ha presentado ni discutido los resultados, ni realizó un análisis de sensibilidad del modelo; más aún, no realizó la verificación del cumplimiento de los objetivos de modelación.

E. Incorporación de la validación de los resultados.

Esta dimensión considera solo un (01) *ítems* de los veintiséis (26) *ítems* totales que contiene la lista de chequeo y se consideró los siguientes puntos de corte:

0,0 - 1,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

1,1 - 2,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)

2,1 - 3,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los 12 EIA se muestran en la Tabla 37 y en el Gráfico 31.

Tabla 37. Resultados para la dimensión Incorporación de la validación de los resultados

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

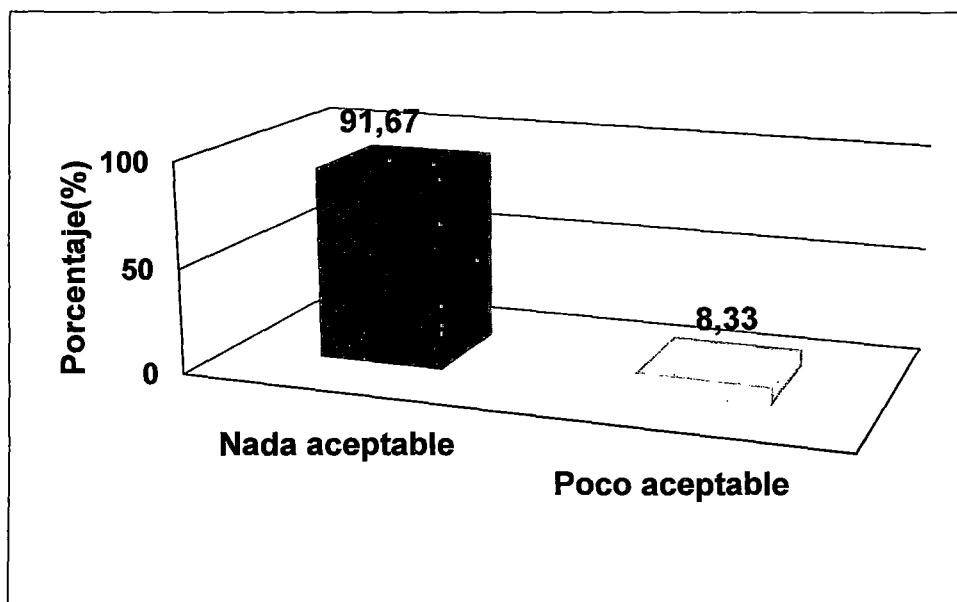


Gráfico 31. Porcentajes de las categorías para la dimensión Incorporación de la validación de los resultados.

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 37 y en el Gráfico 31, se observa que en cuanto a que si se ha incorporado la validación de los resultados presentados, un contundente 91,67% resultó ser *nada aceptable* y en contraste solamente un 8,33% fue *poco aceptable*. Esto significa que la gran mayoría, de los proyectos que utilizaron MDCA (aproximadamente 92%) no ha presentado ni discutido el grado de precisión de los resultados, ni ha realizado alguna verificación o comprobación de los resultados de la aplicación del modelo, a pesar 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.

4.2.3 Resultados de la aplicación de la *Prueba Binomial* en forma general para todos los ítems

Posteriormente, realizamos una *prueba binomial* en forma general, estableciendo puntos de corte, así tenemos: la escala:

26 - 52 puntos = nivel bajo (nada aceptable)

53 - 71 puntos = nivel medio (poco aceptable)

72 - 78 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados se muestran en la Tabla 38 y Gráfico 32

Tabla 38. Resultado general en porcentajes de la revisión, usando la lista de chequeo, de la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en 12 EIA

	Nº	%
Nada aceptable	9	75,00
Poco aceptable	3	25,00
Muy aceptable	0	0
Total	12	100,00

Fuente: Elaboración propia

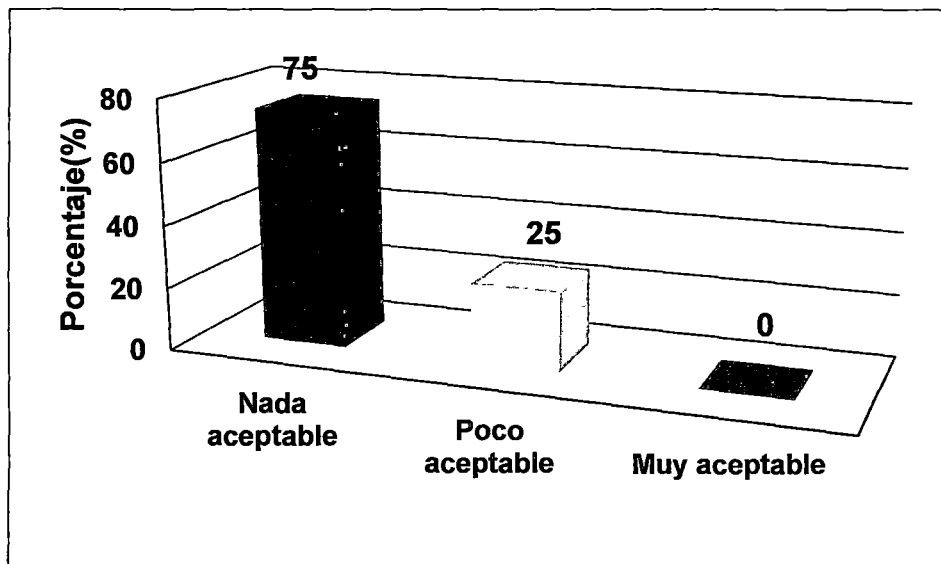


Gráfico 32. Resultado general en porcentajes de la revisión usando la lista de chequeo, de la aplicación de MDCA en 12 EIA

INTERPRETACIÓN

En la Tabla 38 y en el Gráfico 32, se observa el resultado de la aplicación de la *prueba binomial* en forma general para todos los *ítems*. El 75% resultó ser *nada aceptable (nivel de confiabilidad bajo)* y un 25 % resultó *poco aceptable (nivel de confiabilidad medio)*, lo que sorprende es que no se haya obtenido porcentaje alguno para la categoría *muy aceptable (nivel de confiabilidad alto)*. Esto significa que los resultados mostrados por los estudios en lo referente a la aplicación de MDCA no son confiables.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Si definimos:

H₀: El nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental *es alto*.

H₁: El nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental *es bajo*.

Estadístico de Prueba: *Binomial*

Proporción de la Muestra = 0,25

Tamaño de la Muestra = 12

Aproximado 95,0% inferior límite de confianza para p: [0,527327]

Hipótesis Nula: proporción = 0,86

Alternativa: menor que

P - Valor = 0,00000303658

Rechazar la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Interpretación

Este análisis muestra los resultados de realizar el contraste de hipótesis referente a la proporción (θ) de una distribución *binomial*. Las dos hipótesis a considerar son:

Hipótesis Nula: $\theta = 0,86$

Hipótesis Alternativa: $\theta < 0,86$

En esta muestra de 12 observaciones, la proporción de la muestra es igual a 0,25. Puesto que el p-valor para el test es menor que 0,05; entonces la hipótesis nula puede rechazarse para el 95,0% de nivel de confianza. Los límites de confianza muestran que los valores de *theta* soportada por los datos son menores o iguales que 0,527327.

Es decir, existe evidencia para afirmar que el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de los modelos de dispersión de los contaminantes atmosféricos en los estudios de impacto ambiental *es bajo (nada aceptable)*.

CONCLUSIONES

- a) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, en general, *no han considerado la etapa de estudio y definición del problema.*

- b) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, en general, *no han considerado la etapa de construcción o selección del modelo.*

- c) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, en general, *no han considerado la etapa de especificación de valores de variables y parámetros.*

- d) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, en general, *no han considerado la etapa de análisis de los resultados.*

- e) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los estudios de impacto ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, en general, *no han considerado la etapa de validación de los resultados*

- f) La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en la predicción y evaluación de los impactos ambientales negativos de los Estudios de Impacto Ambiental del Perú sometidos al Sistema Nacional de Impacto Ambiental durante el periodo comprendido entre los años 2005-2010, *no han considerado un enfoque metodológico apropiado para estas herramientas de análisis* .

Esto, se debe a lo siguiente: no se estableció la definición de los objetivos para la aplicación del modelo; no se realizó una adecuada justificación de la selección del modelo, ni el análisis de los procesos involucrados; no se aseguró la calidad de la información utilizada, ni el grado de precisión de los resultados; así como la validación de los resultados del modelo.

- g) Conforme a lo anterior los resultados demuestran la hipótesis respecto a que el nivel de confiabilidad es *bajo*; lo que significa, que existe deficiencias en la predicción y pronóstico de impactos ambientales de los estudios, mediante el uso de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.
- h) A diez años de vigencia de la Ley N° 27446 y dos 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 efectúe de acuerdo a lo establecido en la normatividad ambiental, es decir a base de modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos que se encuentren debidamente justificados y aplicados correctamente

RECOMENDACIONES

Para preservar la eficacia y eficiencia del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental como una herramienta de prevención en la gestión ambiental, proponemos las siguientes recomendaciones:

- a) Al Ministerio de Energía y Minas, para que exija la modelación ambiental como requisito indispensable de validez y confiabilidad en la aplicación de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para la predicción y pronóstico de la calidad del aire. Para que sea ineludible el cumplimiento de este requisito de prevención de impactos ambientales negativos, contenido en los términos de referencia básicos para Estudios de Impacto Ambiental de los Anexos III y IV del Reglamento de la Ley N° 27446, y consecuentemente el SEIA tenga la eficacia esperada; *deberá precisar tales exigencias en sus guías ambientales.*

- b) A las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Energéticos del Ministerio de Energía y Minas, que deben exigir a los estudios de impacto ambiental que hagan uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, lo siguiente:
- Presentar los propósitos de la evaluación
 - Describir las fuentes, contaminantes (línea base, procesos), área en estudio, receptores, terreno, edificaciones y meteorología
 - Presentar y justificar la fuente y validez de la información.
 - Indicar los criterios utilizados para la selección del dominio del modelo y la resolución del modelo.
 - Discutir y cuantificar la sensibilidad del modelo.
 - Presentar los resultados en forma clara y fácil de entender
 - Discutir los valores obtenidos
 - Presentar los datos de entrada usados.
- c) Al Ministerio del Ambiente, que deberá fiscalizar y hacer una evaluación en todas las actividades que generen

impacto sobre la calidad del aire y los procedimientos de evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental que aplican los evaluadores y que son el sustento de las certificaciones ambientales otorgadas por las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales.

- d) Al Poder Ejecutivo que norme los contaminantes y sus tasas de emisión, a partir de las cuales, su impacto sobre la calidad del aire debe ser evaluado por un modelo de análisis preliminar; si las concentraciones ambientales totales del contaminante en estudio no sobrepasan los estándares aceptados internacionalmente, es suficiente; caso contrario se deberá exigir la aplicación de modelos matemáticos.

- e) Al Poder Ejecutivo y al Congreso de la República que debe asignar responsabilidades legales a quienes utilizan MDCA en los EIA, incentivándolos a ser más rigurosos en su uso, evitando exponerse a sanciones si se detecta y comprueba que han actuado con negligencia o dolo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre Chang, Ada. (2000), *Metodología integrada para la revisión de evaluación de impacto ambiental (MIREIA): Análisis del Marco Legal e Institucional Peruano para la evaluación de impacto ambiental*. Documento elaborado para el Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), como parte del Programa “Revisión de los Sistemas de EIA en Latinoamérica y El Caribe”. Lima
- AWMA (Air & Waste Management Association). (2000). *Air Pollution Engineering Manual*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, New York. pp 557.
- Bennett, A. F. (2002). *Inverse modeling of ocean and atmosphere*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Brasseur, G. P., Orlando, J. J., Tyndall G. S. (2003). *Modeling in atmospheric chemistry and global change*. Oxford University Press, Oxford

- Bustos, C. (2004). *Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación de Impacto Ambiental: Análisis del Proceso*. Tesis para optar el Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Santiago.
- Chase, R. Aquilano, N., Jacobs, R. (2000). *Administración de producción y operaciones*. McGraw-Hill: madrid
- Dawidoski, L., Gómez, D., Reich, S. (1997), *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental atmosférico*. CNEAA. Buenos Aires .
- Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. (2003). *Informe sobre la aplicación y eficacia de la Directiva de EIA (Directiva 85/337/CEE en su versión modificada por la Directiva 97/11/CE)*. Qué avances han realizado los Estados miembros en la aplicación de la Directiva de Evaluación Ambiental. [en línea] <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52003DC0334:ES:HTML>>[consulta: 11 Septiembre de 2010]

- European Environment Agency. (1999a), *Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Informe de la European Enviroment Agency*. [En línea] < <http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-028-6>> [Última consulta : 22 de julio de 2011]
- European Environment Agency. (1999b), *Review on requirements for models and model application* [En línea] < http://www.eea.europa.eu/publications/topic_report_1996_18> [Última consulta : 22 de julio de 2011]
- Figueruelo, J y Marino, M. (2004). *Química Física del ambiente y de los Procesos Medioambientales*. REVERTÈ. S.A: Barcelona.
- Gallardo, L. (2003). *Trazas atmosféricas y su modelación*. [En línea] <http://www.dim.uchile.cl/~lgallard/publications_lgk/Capitulo_4> [consulta 14 de abril de 2011]

- 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
- Henry, G y Heinke, G. (2001) *Ingeniería Ambiental*. Segunda edición, Prentice Hall. New York..
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, L. (2007), *Fundamentos de la metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill. México.
- 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 et al., editors. Academic Press.
- IPCC 2001. *Climate Change (2001): The scientific asis. Summary for Policy Makers*. Cambridge University Press, Cambridge
- Jacobson, M. (2002). *Fundamentals of atmospheric modeling*, Cambridge University Press, Cambridge

- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid, McGraw-Hill. 1330p.
- Kupermintz, H. (2004). *On de reliability of categorically scored examinations*. J Educ Meas. 41: 193-204 citado por Campos Arias A. (2005) *Aproximación al uso del coeficiente alfa de cronbach* [en línea] Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/806/80634409.pdf>. [Consulta 13.05.2011].
- Lavoisier, A. (1789). *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*, 2 vols. Paris, Chez Cuchet
- Mackenziel, D. y Masten, S.J. (2004). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Mc Graw Hill, México.
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Certificaciones ambientales aprobadas 2005-2010*. MINEM: PERÚ. [En línea] < http://intranet2.minem.gob.pe/web/dgaam/certificado_EIAS_new.asp > [Última consulta 26 de mayo de 2011]

- 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.
- 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/>> [Última consulta 16 de junio de 2011]
- 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.
- World Bank Group. (1998). *Airshed models. En: Pollution prevention and abatement handbook*, July 1998.

ANEXOS

ANEXO 1: VALIDEZ DEL CUESTIONARIO (PRUEBA DE EXPERTOS

PRUEBA BINOMIAL

ÍTEMS	N° DE JUEZ				P
	1	2	3	4	
1	0	1	1	0	1,000*
2	0	1	0	0	0,289*
3	1	1	1	0	0,289*
4	1	1	0	0	1,000*
5	1	1	0	0	1,000*
6	1	1	0	1	0,289*
7	1	1	0	0	1,000*
8	1	0	0	0	0,289*
9	1	0	0	0	0,289*
10	1	1	1	1	0,008
11	1	1	0	0	1,000*
12	1	1	1	0	0,289*
13	1	0	1	0	1,000*
14	1	1	0	0	1,000*
15	1	1	1	1	0,008
16	1	1	1	1	0,008
17	1	1	0	1	0,289*
18	1	1	0	1	0,289*
19	1	1	0	1	0,289*
20	1	1	1	1	0,008
21	1	1	0	0	1,000*
22	1	1	1	0	0,289*
23	1	1	0	0	1,000*
24	1	1	0	1	0,289*
25	1	1	0	1	0,289*
26	1	1	0	1	0,289*

INTERPRETACIÓN

Se ha considerado:

✓ 0: Si la respuesta es negativa

✓ 1: Si la respuesta es positiva

Decisión: Si la P es menor o igual a 0,05; el grado de concordancia es significativo.

(*) Las observaciones y sugerencias para estos *ítems*, fueron consideradas y modificadas en la versión del cuestionario final.

A continuación presentamos la corrida de la prueba *binomial* usando el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Prueba binomial

		Categoría	Nº	Proporción observada	Prop. de prueba	Sig. exacta (bilateral)
V1	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V2	Grupo 1	Correcto	2	0,25	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	6	0,75		
	Total		8	1,00		
V3	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V4	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V5	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V6	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V7	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		

V8	Grupo 1	Correcto	2	0,25	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	6	0,75		
	Total		8	1,00		
V9	Grupo 1	Correcto	2	0,25	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	6	0,75		
	Total		8	1,00		
V10	Grupo 1	Correcto	8	1,00	0,50	0,008
	Total		8	1,00		
V11	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V12	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V13	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V14	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V15	Grupo 1	Correcto	8	1,00	0,50	0,008
	Total		8	1,00		
V16	Grupo 1	Correcto	8	1,00	0,50	0,008
	Total		8	1,00		
V17	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V18	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V19	Grupo 1	Correcto	6	0,50	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,50		

	Total		8	1,00		
V20	Grupo 1	Correcto	8	1,00	0,50	0,008
	Total		8	1,00		
V21	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V22	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V23	Grupo 1	Correcto	4	0,50	0,50	1,000
	Grupo 2	Incorrecto	4	0,50		
	Total		8	1,00		
V24	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V25	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		
V26	Grupo 1	Correcto	6	0,75	0,50	0,289
	Grupo 2	Incorrecto	2	0,25		
	Total		8	1,00		

ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS EXPERTOS

Número y nombre de experto	Responsabilidad, formación académica	Calificación profesional	Categoría docente	Años de experiencia en investigación
Experto 1 Rina Álvarez Becerra	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna	Doctora en Educación con mención en Gestión	Titular – Principal	17
Experto 2 Benjamín Dávila Flores	Universidad Nacional San Agustín de Arequipa y Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna	Doctor en Ciencias: Biología; Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales	Titular – Principal	20
Experto 3 Alberto Quispe Cohaila	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna	Doctor en Ingeniería	Titular – Principal	15
Experto 4 Natalio Arenas Oporto	Ministerio de Energía y Minas	Máster en Ciencias; candidato a Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	Evaluador	15

ANEXO 3: ANÁLISIS DE FIABILIDAD

La confiabilidad, se define como el grado en que un instrumento de varios *ítems* mide consistentemente una muestra de la población. El coeficiente de confiabilidad se expresa con la letra *r* e indica la fuerza de la asociación. El Valor *r* varía entre -1 y +1, un valor 0 indica que no existe relación entre los dos puntajes, mientras que un valor cercano a -1 y +1 indica una relación muy cercana, negativa o positiva respectivamente. Un valor positivo indica que las personas con puntaje alto en una primera aplicación de la escala también puntuarán alto durante la segunda ocasión. Una confiabilidad negativa indica un error de cálculo o una inconsistencia de la escala.

La confiabilidad del instrumento se determinó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach (α), cuya ecuación es la siguiente:

$$\alpha = \frac{K(COV / VAR)}{1 + (k - 1)(COV / VAR)}$$

Donde:

K= Número de *ítems*

COV= Media de las covarianzas de los *ítems*

VAR= Media de las varianzas de los *ítems*

Resultados:

Confiabilidad para el cuestionario (26 ítems)

$$\alpha = \frac{K(COV / VAR)}{1 + (k - 1)(COV / VAR)}$$

$$\alpha = 0,718$$

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	Nº de elementos
0,718	0,736	25*

***El ítem 22 no se comprendió en el análisis por presentar una varianza 0.**

Estadísticos de resumen de los elementos

	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Máximo/mínimo	Varianza	Nº de elementos
Medias de los elementos	1,940	1,083	2,667	1,583	2,462	0,221	25
Varianzas de los elementos	0,485	0,083	1,061	0,977	12,727	0,046	25
Covarianzas inter-elementos	0,045	-0,500	0,682	1,182	-1,364	0,028	25

INTERPRETACIÓN

El valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,70; por debajo de este valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Por su parte, el valor máximo esperada es de 0,90; por encima de ese valor se considera que hay redundancia o duplicación. Usualmente se prefieren valores de alfa entre 0,80 y 0,90 (Kupermintz, 2004).

CONCLUSIÓN

El cuestionario con veintiséis *ítems* es fiable, ya que el valor alfa de Cronbach para el total de la escala es de es de 0,718; lo que evidencia una alta consistencia interna y por tanto una buena homogeneidad de la escala.

ANEXO 4. LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA MUESTRA

EIA	ESCRITO	EMPRESA	UNIDAD/ PROYECTO	UBICACIÓN (D/P/D)	RESOL. DIR./ FECHA
P1	1622328	MINSUR S.A	PUCAMARCA EXPLOTACION A TAJO ABIERTO	TACNA TACNA PALCA	256-2009- MEM-AAM 21/08/2009
P2	1961503	MINERA BARRICK MISQUICHIL CA S.A.	CHICAMA MODIFICACION DEL EIA DE LA OPERACION MINERA ALTO CHICAMA - LAGUNAS NORTE	LA LIBERTAD SANTIAGO DE CHUCO QUIRUVILCA	255-2010- MEM-AAM 06/08/2010
P3	1707562	COMPAÑIA MINERA ANTAMINA S.A.	ANTAMINA EXPANSION DEL TAJO ABIERTO Y OPTIMIZACION DEL PROCESAMIENTO	ANCASH HUARI SAN MARCOS	091-2008- MEM-AAM 22/04/2008
P4	1947323	XSTRATA TINTAYA S.A.	ANTAPACCAY EXPLOTACION ANTAPACCAY- EXPANSION TINTAYA	CUSCO ESPINAR ESPINAR	225-2010- MEM-AAM 06/07/2010
P5	1850554	MINERA YANACOCCHA S.R.L.	YANACOCCHA ZONA ESTE MOD. DEL EIA AMPLIACION DEL PROYECTO CARACHUGO SUPLEMENTARIO YANACOCCHA ESTE	CAJAMARCA CAJAMARCA ENCAÑADA	250-2009- MEM-AAM 17/08/2009
P6	1613057	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.	CERRO VERDE DESARROLLO DE TAJO CERRO NEGRO	AREQUIPA AREQUIPA YARABAMBA	181-2007- MEM-AAM 03/05/2007

P7	1515449	MINSUR S.A.	FUNDICIÓN Y REFINERÍA (FUNSUR) MODIFICACIÓN EIA DE LA PLANTA DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA DE ESTAÑO.	ICA PISCO PISCO	052- 2006/MEM- AAM 13/02/2006
P8	1939677	MINERA CHINALCO PERÚ S.A.	TOROMOCHO PROYECTO TOROMOCHO	JUNÍN YAUJI MOROCO CHA	411-2010- MEM-AAM 14/12/2010
P9	1778158	HOLEK ENERGÍA S.A.C. y LENNOX ENERGÉTIC A S.A.C.	CENTRALES TÉRMOELÉCTRICAS DE PAMPA SALINAS, CHILCA	LIMA CAÑETE CHILCA	415-2008- MEM-AAE 15/10/2008
P10	1730579	EDEGEL S.A.A.	CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA	LIMA CAÑETE CHILCA	105-2008- MEM-AAE 11/02/2008
P11	1716481	ENER SUR S.A.	CENTRAL TÉRMOELECTRICA CHILCA-1 CICLO COMBINADO	LIMA CAÑETE CHILCA	1023-207- MEM/AAE 14-12-2007
P12	1811696	TINKU GENERACIÓN S.A.C.	CENTRAL TÉRMICA TINKU	LIMA CAÑETE CHILCA	152-2009- MEM-AAE 29/04/2009

Fuente: elaboración propia a partir del MINEM

ANEXO 5. LISTA DE CHEQUEO

DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEMS						
Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los estudios de impacto ambiental	Descripción de la fuente emisora	1. ¿Se ha descrito el tipo de fuente? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable				
		1	2	3				
		2. ¿Se ha descrito la ubicación de la fuente? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable				
	1	2	3					
	3. ¿Se ha descrito la altura de la fuente sobre el nivel del terreno? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
	4. ¿Se ha descrito el punto de descarga? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
5. ¿Se ha descrito el régimen de operación? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Descripción de los contaminantes emitidos	6. ¿Se ha descrito e identificado a los contaminantes emitidos? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
	7. ¿Se ha descrito la tasa de emisión? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
8. ¿Se ha descrito el caudal de emisión? <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nada aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Poco aceptable</td> <td style="padding: 2px;">Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
9. ¿Se ha descrito la temperatura de emisión?								

			Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
Descripción de la zona en estudio	10. ¿Se ha descrito la meteorología de la zona?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
	11. ¿Se ha descrito la topografía de la zona?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
	12. ¿Se ha descrito el uso del suelo?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
Identificación de los procesos que inciden en la dispersión de contaminantes	13. ¿Se ha descrito la calidad anual del aire?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
	14. ¿Se ha descrito la presencia de edificaciones de altura?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
Establecimiento de los objetivos de la aplicación del modelo	15. ¿Se ha descrito la presencia de receptores críticos en la zona?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3
	16. ¿Se identifican los procesos que resultan relevantes en la dispersión de los contaminantes en estudio?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
		1	2	3	
	17. ¿Se establece los objetivos de la aplicación del modelo?		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
			1	2	3

Incorporación de la metodología usada para construir o seleccionar el modelo en los estudios de impacto ambiental	Concordancia del modelo con el problema en estudio y sus objetivos	18. ¿Se ha descrito la metodología para construir o seleccionar un modelo acorde con las características del problema en estudio y sus objetivos? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
1	2	3						
Justificación del modelo construido o seleccionado	19. ¿Se ha justificado el modelo construido o seleccionado? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los estudios de impacto ambiental	Descripción de los valores de las variables y parámetros con los que será cargado el modelo	20. ¿Se han descrito los valores de las variables y parámetros con los cuales se realizará la modelación? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
Control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar el modelo	21. ¿Se ha identificado y proporcionado al modelo información en la cantidad y calidad requerida? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Identificación de la condición más desfavorable	22. ¿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? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en los estudios de	Presentación y discusión de resultados	23. ¿Se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como las conclusiones que se pueden tomar a partir de estos? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						

impacto ambiental	Análisis de sensibilidad del modelo	<p>24. ¿Se ha <i>discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo</i> a posibles variaciones en los valores utilizados para las variables y parámetros durante la modelación?</p> <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
1	2	3						
Cumplimiento de objetivos de la modelación	<p>25. ¿Se ha <i>verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos</i>?</p> <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Incorporación de la validación de los resultados en la aplicación del modelo en los EIA	Precisión de los resultados	<p>26. ¿Se ha <i>presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo</i>?</p> <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						