

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS ESTADO DE MÉXICO**



**DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES  
INDUSTRIALES A NIVEL LOCAL**

**TESIS QUE PRESENTA**

**PEDRO CUAUHTÉMOC MONTÚFAR ORTÍZ**

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
MDS2003**

**DICIEMBRE, 2004**

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



## **DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES INDUSTRIALES A NIVEL LOCAL**

TESIS QUE PARA OPTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
PRESENTA

**PEDRO CUAUHTÉMOC MONTÚFAR ORTÍZ**

Asesor: DRA. NYDIA SUPPEN REYNAGA  
Co-Asesor M. en C. DZOARA TEJEDA HONSTEIN

Comité de tesis: DR. JAVIER RAMÍREZ ANGULO

Jurado: DR. JAVIER RAMÍREZ ANGULO  
DRA. NYDIA SUPPEN REYNAGA  
M. en C. DZOARA TEJEDA HONSTEIN

Presidente  
Secretario  
Vocal  
Vocal

Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx., Diciembre de 2004.

## Resumen

Los inventarios de emisiones son herramienta que se usa para identificar fuentes emisoras de contaminantes y sirven para desarrollar planes y programas de gestión y control de la contaminación, otra aplicación de los inventarios la encontramos en el uso de modelos para la calidad del aire.

Para México los inventarios de emisiones se calculan con metodologías propuestas por la EPA-AP42, los gobiernos federales y estatales usan estas metodologías adecuándolas a la situación en México. Es necesario planear adecuadamente el desarrollo de los inventarios en México y sobre todo incluir en el proceso del inventario de emisiones una actividad específica para la evaluación del control de calidad.

Es necesario contar con un instrumento de regulación que nos permita recolectar información local de las industrias y con esta información elaborar una base de datos de la industria federal, estatal o local.

La metodología propuesta en este trabajo de tesis sirve para la evaluación del control de calidad del inventario, esta metodología es práctica y fácil de usar sobre todo si no se cuenta con experiencia en el área de inventarios de emisiones.

La metodología consiste en determinar la importancia de cada uno de los datos del inventario, la forma de hacerlo es consultando a grupos de expertos en diferentes áreas de interés y elaborando una matriz de expertos que calificarán cada uno de los datos del inventarios. El resultado de esta calificación nos identifica los datos más importantes para el inventario y en los cuales se basará la evaluación del control de calidad. Con los resultados obtenidos de la matriz de expertos se da una calificación a cada uno de los datos.

Como existe un número considerable de datos es recomendable agruparlos por secciones una vez agrupados por secciones se suma la calificación de cada dato y se promedia para cada sección. Esto nos permite identificar los datos que faltan en el inventario o los que están erróneos esta carencia de datos o de mala calidad los consideraremos como deficiencias (Desviaciones) en el inventario.

Las deficiencias encontradas para cada sección se pueden corregir de diferentes maneras, la más común es revisando a fondo la información de la empresa ya sea en registros actuales y/o registros históricos, otra forma es realizando llamadas a los responsables técnico de la empresa, y el último recurso sería la verificación de la información en campo. Cualquiera de estas formas de correcciones requiere de tiempo que se suma al proceso del inventario y normalmente se tiene resultados a largo plazo.



<b>CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>16</b>
1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	16
1.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	16
1.3. INVENTARIOS DE EMISIONES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICAS EN CANADÁ .....	17
1.4. OTROS INVENTARIOS NACIONALES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN CANADÁ .....	18
1.5. INVENTARIOS DE EMISIONES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICAS EN ESTADOS UNIDOS .....	19
1.6. INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN MÉXICO .....	21
1.7. EVOLUCIÓN DE LOS INVENTARIOS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO .....	23
1.7.1. <i>Inventario de emisiones industriales de 1996</i> .....	23
1.7.2. <i>Inventario de emisiones industriales de 1998</i> .....	24
1.7.3. <i>Inventario de emisiones industriales del 2000</i> .....	25
1.8. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO .....	27
1.8.1. <i>Estructura del Inventario de Emisiones</i> .....	28
1.8.2. <i>Control de calidad para el inventario de 1996, 1998 y 2000</i> .....	28
<b>CAPÍTULO 2 ELEMENTOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LOS DATOS DEL INVENTARIO DE FUENTES INDUSTRIALES CON EMISIONES AL AIRE.....</b>	<b>30</b>
2.1. EL PROPÓSITO DEL INVENTARIO .....	30
2.2. OBJETIVOS DEL CONTROL DE CALIDAD .....	32
2.3. COMPONENTES IMPORTANTES PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS .....	33
2.4. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA INDUSTRIA UBICADA EN EL ESTADO DE MÉXICO .....	35
2.5. ETAPAS PROPUESTAS PARA EL DESARROLLO DE INVENTARIOS DE FUENTES INDUSTRIALES QUE GENERAN EMISIONES AL AIRE A NIVEL LOCAL (PIE).....	36
2.5.1. <i>Planeación del inventario a nivel local</i> .....	37
2.5.2. <i>Gestión de la información</i> .....	38
2.5.3. <i>Control de calidad del inventario de emisiones</i> .....	39
2.5.4. <i>Integración de la información de la Cédula de Operación Anual</i> .....	40
2.6. EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN .....	41
2.6.1. <i>Definición del problema áreas prioritarias</i> .....	41
2.7. CONJUNTO DE CRITERIOS EVALUADOS POR EXPERTOS.....	42
2.7.1. <i>Evaluación de los criterios para calificar la base de datos</i> .....	43
2.8. ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS DE EXPERTOS .....	43
2.9. SIMILARIDAD ENTRE CRITERIOS .....	43
2.10. CONSISTENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN DE EXPERTOS .....	44
2.11. DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN DE EXPERTOS .....	44
2.11.1. <i>Proceso de calificación por secciones</i> .....	49
2.11.2. <i>Primer nivel descripción de los datos y criterios asignados para evaluar el dato</i> .....	50
2.11.3. <i>Segundo nivel descripción del dato y criterios asignados para calificar el dato</i> .....	53
2.11.4. <i>Tercer nivel asignando valores a los equipos de combustión</i> .....	56
2.11.5. <i>Calificación por secciones</i> .....	60
2.11.6. <i>Desviaciones encontradas y corrección de las desviaciones</i> .....	63
2.11.7. <i>Análisis del resultado de las emisiones</i> .....	63
2.11.8. <i>Puntos críticos en el proceso de inventario</i> .....	63
2.11.9. <i>Sistematización de las etapas con mayor tiempo en el proceso de elaboración del inventario</i> .....	63
<b>CAPÍTULO 3 METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES .....</b>	<b>71</b>
3.1. MONITOREO DE EMISIONES EN FUENTES INDUSTRIALES .....	71
3.2. CÁLCULO DE EMISIONES EN FUENTES INDUSTRIALES.....	72
3.2.1. <i>Factores de emisión</i> .....	72
3.3. FACTORES PARA COMBUSTIÓN USADOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO .....	76
3.3.1. <i>Balace de materiales</i> .....	78
3.3.2. <i>Modelos mecanísticos o de estimación de emisiones</i> .....	78
3.3.3. <i>Cálculos de ingeniería</i> .....	78
3.4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES INDUSTRIALES.....	79

3.5.	BALANCE DE ENERGÍA PARA LOS CONSUMOS DE COMBUSTIBLES EN EL INVENTARIO .....	80
3.6.	CÁLCULO DE LAS EMISIONES POR HORA PARA EL INVENTARIO .....	81
3.7.	PROYECCIÓN DE ESCENARIOS DE EMISIONES A FUTURO.....	82
<b>CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y RESULTADOS EN UN CASO DE ESTUDIO.....</b>		<b>84</b>
4.1.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS DATOS Y CÁLCULO DEL INVENTARIO DE EMISIONES EN UN CASO DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN. ....	84
4.1.1.	<i>Localización geográfica del municipio de Naucalpan</i> .....	84
4.1.2.	<i>Actividad Económica en el municipio de Naucalpan</i> .....	85
4.1.3.	<i>Actividad Industrial en el municipio de Naucalpan</i> .....	85
4.2.	INFORMACIÓN DE LAS CÉDULAS DE OPERACIÓN.....	85
4.3.	CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN .....	85
4.3.1.	<i>Calificación de la base de datos</i> .....	85
4.3.2.	<i>Corrección de las desviaciones encontradas</i> .....	90
4.3.3.	<i>Análisis de los resultados de las emisiones</i> .....	91
4.3.4.	<i>Evolución del cálculo de emisiones totales de las fuentes industriales en ton/año</i> .....	91
4.4.	INVENTARIO DE EMISIONES INDUSTRIALES EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN JUÁREZ.....	93
4.4.1.	<i>Emisiones por giro industrial en el municipio de Naucalpan</i> .....	93
4.4.2.	<i>Emisiones por parque industrial en el municipio de Naucalpan</i> .....	96
4.5.	BALANCE DE ENERGÍA PARA EL INVENTARIO .....	97
4.5.1.	<i>Emisiones por tipo de combustible</i> .....	97
4.5.2.	<i>Emisiones por combustión indirecta</i> .....	100
4.5.3.	<i>Emisiones por combustión Directa</i> .....	101
4.6.	PERFIL HORARIO DE EMISIONES .....	101
4.7.	PROYECCIÓN DE EMISIONES .....	102
4.7.1.	<i>Año base para el cálculo</i> .....	102
4.7.2.	<i>Proyecciones a 5, 10, 15 años</i> .....	103
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....</b>		<b>105</b>

## Gráficas y figuras

- Grafica 2.1 Puntaje otorgado a la sección de datos generales
- Grafica 2.2 Puntaje otorgado a la sección de materias primas
- Grafica 2.3 Puntaje otorgado a la sección de productos
- Grafica 2.4 Puntaje otorgado a la sección de equipos de combustión
- Grafica 2.5 Puntaje otorgado a la sección de equipos de proceso
- Grafica 2.6 Puntaje otorgado a la sección de ductos y chimeneas
- Grafica 2.7 Puntaje otorgado a las sección de emisiones
- Grafica 2.8 Puntaje final para las secciones de la base de datos
- Grafica 2.9 Consumo de teórico de combustible gas lp
- Grafica 2.10 Consumo teórico de gas natural
- Grafica 2.11 Consumo teórico de diesel
- Grafica 2.12 Consumo teórico de combustóleo
- Grafica 4.2 Emisiones de PM<sub>10</sub> en ton/año por giro industrial
- Grafica 4.3 Emisiones de SO<sub>x</sub> en ton/año por giro industrial
- Grafica 4.4 Emisiones de CO en ton/año por giro industrial
- Grafica 4.6 Emisiones de COT en ton/año por giro industrial
- Grafica 4.2 Porcentaje de contribución de PM<sub>10</sub>
- Grafica 4.3 Porcentaje de contribución de CO
- Grafica 4.4 Porcentaje de contribución de SO<sub>x</sub>
- Grafica 4.5 Porcentaje de contribución de PM<sub>10</sub>
- Grafica 4.6 Porcentaje de contribución de PM<sub>10</sub>
- Grafica 4.7 Perfil horario de emisiones
- Grafica 4.2 Proyección de emisiones tomando como base el inventario 2002
- Figuras 2.1 Elementos claves para el desarrollo de un inventario de fuentes industriales con emisiones contaminantes
- Figura 2.2. Etapas involucradas en el proceso de inventario de emisiones a nivel local
- Figura 2.3 Etapas del proceso para el desarrollo del inventario de fuentes industriales que generan emisiones al aire a nivel local (PIE)
- Figura 2.4 Carátula principal del sistema de captura
- Figura 2.5 Sección datos generales
- Figura 2.6 Sección diagrama de proceso principal
- Figura 2.7 Sección de diagrama de servicio auxiliares
- Figura 2.8 Sección materias primas y productos
- Figura 2.9 Sección equipos de combustión y chimeneas
- Figura 2.10 Sección maquinaria y equipo de proceso
- Figura 2.11 Sección emisiones
- Figura 2.12 Sección de principales reportes y escenarios
- Figura 3.1 Costos y efectividad del método
- Figura 4.1 Mapa localización del municipio
- Figura 4.5 Emisiones de NO<sub>x</sub> en ton/año por giro industrial
- Diagrama 2.3 Para calificar por secciones la base de datos

## Lista de tablas

Tabla 1.1	Características del inventario e de emisiones contaminantes en Canadá
Tabla 1.2	Características del inventario de emisiones contaminantes en Estados Unidos
Tabla 1.3	Inventarios en las principales ciudades de México
Tabla 1.4	Características del inventario de emisiones contaminantes en México
Tabla 2.1	Definición de nivel del inventario con requerimientos de calidad
Tabla 2.2	Descripción de la planeación del inventario
Tabla 2.2	Escala de calificación para evaluar los criterios
Tabla 2.3	Similaridad entre criterios evaluados por los expertos
Tabla 2.4	Consistencia entre expertos
Tabla 2.4	Resumen de puntuación con los criterios de expertos
Tabla 2.5	Calificaciones asignadas a la sección de datos generales
Tabla 2.6	Calificaciones asignadas a la sección de materias primas
Tabla 2.7	Calificaciones asignadas a la sección de productos
Tabla 2.8	Calificaciones asignadas a la sección de equipos de combustión
Tabla 2.9	Calificaciones asignadas a la sección de equipos de proceso
Tabla 2.10	Calificaciones asignadas a la sección de ductos y chimeneas
Tabla 2.11	Calificaciones asignadas a la sección de emisiones
Tabla 2.12	Eficiencia de equipo por edad
Tabla 3.1	Factores para convertir la concentración volumétrica a concertación en masa
Tabla 3.2	Características de los factores de emisión
Tabla 3.3	Factores de emisión para generación de energía eléctrica (> 3,000 C.C)
Tabla 3.4	Factores de emisión para generación de energía eléctrica (> 3,000 C.C)
Tabla 3.5	Factores de emisión para calderas industriales (300-3,000 C.C)
Tabla 3.6	Factores de emisión para calderas industriales (300-3,000 C.C)
Tabla 3.7	Factores de emisión para combustión institucional/residencial/comercial (10-300 C.C)
Tabla 3.8	Factores de emisión para combustión institucional/residencial/comercial (10-300 C.C)
Tabla 3.9	Métodos para calcular las emisiones
Tabla 3.10	Poder calorífico y densidad para diferente combustibles
Tabla 3.11	Indicadores de emisiones en ton/kcal
Figura 4.1	Mapa de localización del municipio
Tabla 4.1	Sección de datos generales
Tabla 4.2	Sección de materias primas
Tabla 4.3	Sección de productos
Tabla 4.4	Sección de equipos de combustión
Tabla 4.5	Sección de equipos de proceso
Tabla 4.6	Sección de chimeneas y ductos
Tabla 4.7	Sección de emisiones
Tabla 4.8	Resume de la calificación final por secciones.
Tabla 4.9	Resultados sin el control de calida durante la elaboración del inventario.



Tabla 4.10	Resultados corrigiendo las desviaciones del Nivel 1 y Nivel 2
Tabla 4.11	Resultados después de revisar la eficiencia de los equipos de combustión corrección de las desviaciones del Nivel 3.
Tabla 4.12	Resumen final después del proceso de control
Tabla 4.13	Resumen de emisiones en ton/año y por giro industrial
Tabla 4.14	Tabla resumen por parque industrial
Tabla 4.15	Tabla de consumo de combustibles en m <sup>3</sup> /año y kcal/año
Tabla 4.16	Emisiones en ton/año y por tipo de combustible
Tabla 4.17	Emisiones por combustión indirecta
Tabla 4.18	Emisiones de combustión directa
Tabla 4.20	Datos necesarios para la proyección
Tabla 4.21	Año base para la proyección de emisiones.
Tabla 4.22	Proyección de emisiones al 2015

## Introducción

Cada vez es mayor el conocimiento y el nivel de conciencia sobre los daños causados por la contaminación principalmente en la salud y en los ecosistemas, se hace patente el daño en el planeta a consecuencia de la lluvia ácida, las partículas en aerosol, los gases con efecto invernadero y otros contaminantes. Los inventarios de emisiones<sup>1</sup> atmosféricas son esenciales para planear estrategias de reducción de la contaminación del aire en las ciudades. Estos se reconocen internacionalmente como uno de los elementos importantes en la política de calidad del aire, además suministran información crucial sobre fuentes de emisión, la cual sirve para la formulación de estrategias en la mejora de la calidad del aire. Los inventarios de emisiones son una herramienta fundamental para evaluar políticas o estrategias ya implementadas, es muy importante continuar con la precisión de los inventarios. (Luisa T. Molina, Mario J. Molina, 2001).

Los inventarios de emisiones se clasifican según la actividad, para México quedan de la siguiente forma: Inventario de emisiones de fuentes móviles, inventario de emisiones de fuentes de área (Servicios), inventario de emisiones de fuentes industriales, inventario de emisiones de biogénicas y fuentes naturales, en este trabajo se habla de fuentes industriales.

Los actuales inventarios de emisiones son cada vez más complejos, con mejoras en el nivel de detalle, la frecuencia de actualización y el acceso ciudadano a ellos. La necesidad de formular planes regionales para reducir contaminantes criterio<sup>2</sup> genera cada vez mayor presión para elaborar inventarios de emisiones de baja incertidumbre, completos y actualizados que puedan intercambiarse a través de las fronteras internacionales. Los inventarios de emisiones deben ser compatibles entre sí, de manera que se les pueda incorporar con mayor facilidad en las iniciativas regionales. Disponer de inventarios compatibles y de calidad nos permitirá formular políticas equitativas para atender la contaminación atmosférica regional y ofrecer a la ciudadanía información comparable sobre las fuentes de contaminación (CCA, 2002).

Existen numerosas razones prácticas para examinar y hacer un inventario de emisiones a la atmosférica, entre ellas:

- Las disposiciones internas reglamentarias y de planificación ambiental que necesita de la modelación de calidad del aire
- La necesidad de información suficientemente detallada que permita a los planificadores centrarse en los verdaderos objetivos prácticos de reducción; por ejemplo, saber si las emisiones provienen de la combustión o de las actividades de proceso de alguna planta industrial, o de fuentes naturales o antropogénicas

---

<sup>1</sup> Un inventario de emisiones es un listado actualizado y amplio de las emisiones de contaminantes atmosféricos, por fuente, de una área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinado (EPA, 1999).

<sup>2</sup> Los contaminantes criterios se han definido así por que se han encontrado efectos adverso en animales, plantas y materiales (Luisa T. Molina, et al. 2001).

- La elaboración de informes que reflejen de forma clara y precisa la contribución de las emisiones en la calidad del aire, para su comparabilidad con diferentes países y su uso en el desarrollo, implementación y cumplimiento de programas de calidad del aire
- La posibilidad de que los estados y la ciudadanía den seguimiento a las tendencias de los contaminantes atmosféricos de criterio y las emisiones de gases con efecto invernadero y, por consiguiente, se monitorea la penetración de las medidas de control
- Que la ciudadanía disponga de información accesible sobre los contaminantes atmosféricos y gases de invernadero emitidos en sus comunidades locales

Los secretarios de medio ambiente de Canadá, Estados Unidos y México reconocieron estas necesidades en la reunión celebrada en junio de 2001 en Guadalajara México, en la que en su calidad de integrantes del Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental, adoptaron una resolución para fomentar la comparabilidad de los inventarios de emisiones de América del Norte.

Para México los inventarios Nacionales de emisiones al aire son utilizados para la planeación y valoración de los impactos a la salud y al medio ambiente, estos inventarios son construidos tradicionalmente por la relación que existe entre el nivel de actividad y la cantidad de energía que requiere para generar un servicio o producto. Es de suma importancia desarrollar escenarios de planeación mas reales en la zona de estudio en base a los inventarios de emisiones, la forma de construir escenarios mas reales es con la recolección de datos que nos permita encontrar la mejor relación de consumo de energía contra generaciones de emisión (IE-98 CAM), ó la relación de generación de productos o servicio y un nivel de contaminación.

Los inventarios son desarrollados inicialmente para cuantificar de manera general las emisiones a la atmósfera, pero no con la finalidad de ser utilizados en modelación atmosférica, lo que ha llevado a los investigadores de ésta área, a realizar modificaciones a estos inventarios con tales fines, generando así un grado de incertidumbre considerable al momento de realizar tales modificaciones.

El desarrollo eficaz de un inventario de emisiones a la atmósfera<sup>3</sup>, es de vital importancia ya que son parte importante de los datos de entrada para los modelos de calidad del aire y los resultados del modelo dependen la calidad y confiabilidad de los datos del inventario. Además, de que los inventarios por sí solos son herramientas técnicas que sirven a las autoridades en la toma de decisiones para realizar programas de prevención y control de contaminación atmosférica (CAM, 2002).

El problema de la contaminación atmosférica en el Zona Metropolitana de la Cuenca de México ha sido reconocido por los gobiernos y los ciudadanos desde los 1970's, diversas Iniciativas de políticas promulgadas en el 1990's fueron eficaces para abordar algunos aspectos del problema.

---

<sup>3</sup> Características de un inventario de emisiones eficaz, Amplio, Comparable, Actualizado, Consistente y coherente con otros, Alta calidad, Accesible al público(EPA,1999).

Con éstas se logró algunas reducciones en las mediciones ambientales de plomo, dióxido de azufre y monóxido de carbono, pero las concentraciones de ozono, óxidos de nitrógeno no se redujeron, por lo tanto indican poca mejora durante la década anterior (CAM,2002).

Es importantes considerar la regulación de los particulares poseedores de fuentes fijas<sup>4</sup>, Para esto, las Secretarías de Ecología tanto a nivel Federal y Estatal han desarrollado un instrumento de regulación industrial denominado Cédula de Operación Anual (COA) este formato sirve tanto a nivel local y/o Estatal, la COA es un instrumento que sirve de herramienta para coleccionar la información necesaria para calcular de manera indirecta el inventario de emisiones de las fuentes industriales.

Las actividades para la Evaluación y Aseguramiento de la Calidad y el Control de Calidad son esenciales en el desarrollo de los inventarios de emisiones, para que éstos sean comprensivos y de alta calidad para cualquier propósito. Además, un sistema de evaluación y Aseguramiento de la Calidad bien desarrollado y bien implementado fomenta la confianza en el inventario y asegura el éxito de cualquier programa de prevención.

Un sistema de Evaluación y Aseguramiento de la Calidad comprende dos componentes. El primer componente es el del Control de Calidad, éste es un sistema de actividades técnicas de rutina implementadas por el personal que desarrolla el inventario, sirve para medir y controlar la calidad del inventario que está siendo desarrollado, el control de calidad sirve para:

- Proporcionar rutinariamente chequeos consistentes y documentar los puntos en el proceso de desarrollo de inventarios para verificar la integridad de los datos, correcciones y complementaciones.
- Identificar y reducir errores u omisiones
- Maximizar la consistencia dentro de la preparación del inventario y los procesos de documentación y
- Facilitar los procesos de revisión del inventario internos y externos.

Las actividades incluyen revisiones técnicas, chequeos de exactitud, y el uso de procedimientos estandarizados aprobados para calcular emisiones. Estas actividades deberán incluirse en el desarrollo del inventario.

El segundo componente del sistema es la Evaluación y Aseguramiento de la Calidad está consiste en actividades externas, que incluye un procedimientos de auditoria y revisión conducidos por el personal no activamente involucrado en el proceso de desarrollo de inventario. El concepto clave de este componente es la revisión objetiva independiente por terceros para evaluar la eficacia del programa interno de Control de Calidad y la calidad del inventario, y para reducir o eliminar cualquier predisposición inherente en los procesos de inventario. Además de promover los objetivos del sistema de Control de Calidad, una revisión comprensiva del sistema de

---

<sup>4</sup>Fuentes fija: Es toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones a la atmósfera (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1998).

Aseguramiento de la Calidad proporcionará el mejor indicio de calidad total, integridad, exactitud, precisión, representividad del inventario, y la comparabilidad de los datos reunidos.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es desarrollar un sistema de evaluación y control de calidad para estimar el inventario de emisiones a nivel local. El instrumento de recopilación de datos es la Cédula de Operación Anual. Otros objetivos secundarios incluyen: reducción de incertidumbre, Para lograr una reducción considerable en la incertidumbre del inventario se propone corregir las desviaciones encontradas en el control de calidad. El estimar el inventario a nivel local, disminuirá la incertidumbre en el inventario a nivel estatal, debido al detalle al cual se puede llegar con el tratamiento de la información.

El proceso de evaluación y control de calidad se realiza en varias etapas que puede incrementar los tiempos en la realización del inventario, para reducir estos tiempos es necesario sistematizar el proceso. Para iniciar la sistematización lo primero que se hace es revisar los puntos críticos dentro del proceso del inventario, dos incluir dentro del proceso de inventario el aseguramiento de la calidad y el control de calidad, tercero documentar adecuadamente todas las actividades para implementar un sistema de calidad, quinto disminuir los tiempos de respuesta en cada una de las etapas críticas del inventario, sexto prever escenarios a futuro para el uso de la información.

Para entender el proceso del inventario de emisiones se identificaron 5 etapas: La planeación del inventario, la gestión de la información de las fuentes a inventariar, el control de calidad de la información, el cálculo de emisiones del inventario y los reportes finales, dentro del proceso se encontraron actividades críticas, las actividades críticas identificadas son la recepción y entrega de la información, la captura de la información, análisis de la información, verificación de la información, cálculo del inventario.

Por otra parte los tiempos para cada etapa del proceso del inventario son lentos lo que se traduce en resultados a largo plazo y con muchas deficiencias. Es importante controlar los tiempos en el proceso, la calidad y veracidad de la información.

Las etapas del inventario que se analizaron para evaluar la calidad del inventario son a partir de la de la captura de la información. Un punto de partida importante es que no existe implementado o sistematizado el control de calidad, solo se encuentra mencionada a partir del inventario de 1998. En el año 2002 se realizó una auditoría al inventario, en la cual se comenta que el inventario 1998 se realizó de forma organizada y se agregó en forma extensa las metodologías de cálculo para diferentes fuentes, sin embargo se recomienda que se incluya la información a mayor detalle para que se pueda evaluar la calidad de éste (Western Governors, 2002). Por lo que deja ver que el inventario no tiene tantos elementos para definir su calidad.

Para la realización de éste trabajo se desarrolló la metodología que nos permite validar la información y asegurar el control de calidad, esto se discute y se tratará a detalle en el capítulo 2, una vez evaluado el control de calidad de la información del inventario; la segunda actividad importante es el cálculo de emisiones del inventario de las fuentes industriales, esto se discutirá en el capítulo 3, los potenciales de uso de la información quedan al criterio del usuario o para los objetivos que se persigan. Es posible desarrollar escenarios a futuro, los cuales sirvan de base

para cubrir la necesidades de ese momento, la metodología desarrollada para la evaluación del control de calidad de los datos se vera reflejada en un caso de estudio aplicado a nivel local (Naucalpan, Estado de México), esto se explicará en el capítulo 4, y finalmente se darán conclusiones del la metodología desarrollada en el capítulo 5.

## **Objetivos generales**

El objetivo del presente trabajo consiste en desarrollar la metodología para la evaluación y el control de calidad de los datos para la elaboración del inventario de emisiones industriales.

## **Objetivos específicos**

- Desarrollo de la metodología para realizar la evaluación del control de calidad de los datos para estimar el inventario de emisiones de fuentes puntuales a nivel local
- Generación de criterios para la evaluación de la información del inventario de fuentes puntuales a nivel local
- Evaluación de los criterios y ponderación de los resultados para calificar los datos del inventario (confiabilidad de la base)
- Sistematización de la evaluación del control de calidad para el desarrollo de inventarios industriales a nivel local.

## **Alcances**

Los alcances de éste trabajo se centran en la evaluación del control de calidad interno durante el proceso de elaboración del inventario, mediante la propuesta de evaluación de los datos colectados, por medio de criterios y rangos sugeridos para cada tipo de dato y la calificación de la base de datos con criterios de expertos en diferentes áreas.

## **Justificación del trabajo**

Los inventarios han sido utilizados para diferentes usos sin saber la calidad del inventario que se está usando, ni con la actualización requerida, esto sin mencionar las metodologías utilizadas para el cálculo de emisiones, el grupo Molina han realizado una auditoría al inventario de 1998 dando algunos comentarios favorables y recomendaciones a éste, dentro de estas recomendaciones son el desarrollo de metodologías propias y la documentación adecuada del inventario. Es por esta razón que dejan la posibilidad para trabajar en la evaluación del control de calidad del inventario de emisiones.

# Capítulo 1 Antecedentes

## 2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se manifiesta como el denominado smog o mezcla de contaminantes, principalmente dióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, material particulado, partículas de cenizas, y vapor de agua en aire frío estacionario. El smog ocurre bajo condiciones atmosféricas inusuales de inversión térmica; es decir, aire frío cerca de la superficie por debajo de aire caliente. La principal fuente de dióxido de azufre y cenizas proviene de la combustión de combustibles fósiles y las partículas del uso de carbón principalmente en países industrializados. El smog es muy dañino para la salud ya que el vapor de agua al combinarse con el dióxido de azufre forma ácido nítrico, que es un irritante de los pulmones. La contaminación de la atmósfera superior con smog, ocasiona problemas globales debido al transporte de ácido nítrico y sulfúrico que retorna a la superficie como lluvia ácida, provocando daños a cultivos, bosques, vida acuática, y arruinando construcciones.

El ozono al nivel de la superficie es un contaminante que causa asma e irrita ojos y piel, proviene de vehículos automotores. Hidrocarburos y óxido de nitrógeno se combinan entre sí en presencia de luz solar para producir ozono. El smog fotoquímico se hace sentir con más intensidad en ciudades de alto congestionamiento vehicular durante los días calientes y secos de verano. En cambio, el smog creado por sulfuros ocurre en días fríos de invierno. El smog fotoquímico es muy común cuando los vehículos son viejos y tienen mal estado de mantenimiento. Las emisiones tóxicas de vehículos se reducen instalando convertidores catalíticos, obligado en países desarrollados, pero poco frecuentes en países en desarrollo.

## 2.2. Efectos de la contaminación atmosférica

Desde hace tiempo es conocido el efecto negativo sobre la salud por niveles elevados de contaminación atmosférica (Bates DV, 1998, Schwartz J., 1994) y más recientemente ha sido confirmado que también los niveles de contaminación habituales pueden suponer un riesgo para la salud de la población (Vigotti MA, et al., 1996, Dab W, et al., 1996). Los efectos comentados han sido confirmados por algunos estudios del proyecto APHEA (Short term effects of air pollution on health, a European approach), en los que se describe un aumento del riesgo de muertes por enfermedades respiratorias e ingresos hospitalarios asociados con un incremento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> y de partículas en suspensión (Vigotti MA, et al., 1996).

Se han realizado diversos estudios sobre contaminación atmosférica, donde los resultados han mostrado que niveles bajos de contaminación tienen importancia en términos de salud pública,



porque, aunque los efectos encontrados son de baja magnitud, pueden afectar a grandes grupos de población, y especialmente a determinadas poblaciones de riesgo, como ancianos o enfermos crónicos (Dab W, et, al 1996, Saldiva PH, et. al 1995).

Las preocupaciones en torno a los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública y en el medio ambiente están dando lugar a que las dependencias gubernamentales en Canadá, Estados Unidos y México, formulen planes urbanos y regionales para el manejo del smog, la niebla y de las sustancias tóxicas. Sin embargo, la elaboración de estos planes requiere de inventarios de emisiones de calidad, completos, consistentes y coherentes entre sí. Con el propósito de maximizar recursos, experiencias e ideas, la Comisión para la Cooperación de Ambiental (CCA) hace un llamado a representantes gubernamentales, grupos industriales y empresariales, organizaciones ambientales y de salud pública y otras partes interesadas para colaborar en pro del aumento de la comparabilidad de los inventarios de emisiones atmosféricas(CCA,2001).

### **2.3. Inventarios de emisiones contaminantes atmosféricas en Canadá**

En Canadá existe un inventario nacional de contaminantes atmosféricos considerados como criterio<sup>5</sup>, denominado Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Criterio (*Criteria Air Contaminants Emission Inventory*), abarca los siguientes contaminantes mencionados en orden alfabético: Amoníaco (NH<sub>3</sub>) , Materia particulado (PM<sub>10</sub>) , Materia particulado (PM<sub>2.5</sub>) , Monóxido de carbono (CO), Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), Óxidos de nitrógeno(NO<sub>x</sub>) , Partículas suspendidas totales . El Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Criterio se integra a partir de una combinación de manuales de referencia, entre los que destaca el *Criteria Contaminants Emission Inventory Guidebook*, de Environment Canadá, con experiencias previas y consultas al grupo de trabajo. Por lo general, las provincias recopilan y verifican los datos correspondientes a fuentes puntuales, en tanto que el gobierno federal se ocupa de calcular las emisiones de fuentes móviles y de área para cada provincia. La integración de las emisiones de fuentes puntuales se realiza mediante una variedad de métodos: la realización de estudios especiales, el uso de datos del monitoreo de emisiones y la aplicación de factores de emisión derivados de cálculos estadounidenses o europeos, así como de los mejores criterios de ingeniería, entre otros.

El Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Criterio se utiliza de diferentes maneras. Sirve de base para las decisiones en materia de programas y reglamentos sobre reducción de emisiones, y para los programas gubernamentales sobre cambio climático, smog, emisiones acidificantes y emisiones tóxicas atmosféricas. Así mismo, diversos programas de monitoreo , acuerdos, protocolos y convenios nacionales e internacionales, incluidos el Acuerdo

---

<sup>5</sup>Los contaminantes criterios se ha definido así por que se han encontrado efectos adverso en animales, plantas y Materiales(Luisa T. Molina , Mario J. Molina , 2001)

sobre la Calidad del Aire de Canadá, el Acuerdo entre Canadá y Estados Unidos sobre Calidad del Aire y el Plan de Manejo de NO<sub>x</sub>/COV se sustentan en el inventario (Environmental , Canadá 1999).

## **2.4. Otros inventarios nacionales de contaminantes atmosféricos en Canadá**

El Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (NPRI, por sus siglas en inglés) es un inventario anual de 268 sustancias liberadas en el aire, suelo y agua, así como inyectadas en el subsuelo o transferidas fuera de sitio para su eliminación y reciclaje. Alrededor de 2,000 plantas industriales están obligadas a presentar informes en todo el país. Corresponde a Environment Canadá reunir todos los datos y publicarlos (Environmental, Canadá 2000).

El Inventario de Emisiones de Gases con Efecto Invernadero: un inventario periódico de gases de invernadero, incluidos dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hexafluoruro de azufre, perfluorocarbonos e hidrofluorocarbonos. Los datos más recientes disponibles al público corresponden a 1998. El inventario se basa en la metodología desarrollada por la Convención Marco de la ONU sobre el Cambio Climático. La información está desglosada en seis categorías principales (Environmental Canadá 2000). Muchas provincias y algunas regiones han desarrollado sus propios inventarios de contaminantes atmosféricos de criterio. Éstos varían en el grado de detalle, cobertura por sectores y frecuencia con la que se les actualiza.

La mayoría han sido formulados con el propósito de aportar datos para los programas provinciales de calidad del aire, en materia de ozono, lluvia ácida, partículas suspendidas, para determinar las tendencias en el tiempo y verificar los datos del inventario nacional. Algunos de los inventarios provinciales consideran que la información sobre emisiones de establecimientos específicos es confidencial y, por lo tanto, sólo ofrecen un análisis general por sectores; otras provincias, en cambio, ofrecen datos específicos sobre las plantas industriales, pero son apenas unos cuantos los inventarios provinciales de emisiones con información específica que pueden consultarse fácilmente.

Un estudio reciente sobre inventarios de emisiones en Canadá, realizado para el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, encontró que existen 39 inventarios de emisiones en el país: 3 regionales, 6 industriales, 14 provinciales, 3 territoriales y 13 federales. De ellos, 27 están disponibles para consulta. (*Matrix of air release inventories and related programs in Canadá*, febrero de 2000).

Tabla 1.1 Características del inventario de emisiones contaminantes en Canadá

<b>Contaminantes</b>	Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) , Materia particulado (PM <sub>10</sub> ) , Materia particulado (PM <sub>2.5</sub> ) , Monóxido de carbono (CO), Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> ), Óxidos de nitrógeno(NO <sub>x</sub> ) , Partículas suspendidas totales
<b>Año base</b>	1990
<b>Frecuencia de actualización</b>	El inventario se actualiza constantemente y cada 5 años se realiza una actualización mayor años base 1995 , actualización 1999 , 2000,2002
<b>Categorías de fuentes</b>	Environment Canadá ha estructurado el Inventario Canadiense de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Criterio en seis categorías principales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes industriales</li> <li>• Consumo no industrial de combustibles</li> <li>• Transporte</li> <li>• Incineración</li> <li>• Varios</li> <li>• Fuentes abiertas</li> </ul>
<b>Sistema de clasificación</b>	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte ( <i>North American Industry Clasificación System</i> , NAICS) Asimismo, el inventario identifica las fuentes puntuales con los códigos de clasificación de fuentes de Estados Unidos ( <i>source classification codes</i> , SCC), que a partir de los procesos describen el equipo o las operaciones emisores de contaminantes.
<b>División del inventario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminantes específicos</li> <li>• Categorías de fuentes</li> <li>• Provincias</li> <li>• Áreas de manejo del ozono de la troposfera</li> </ul> <p>(<i>Troposphere Ozone Management Areas</i>, TOMAS): áreas con niveles elevados de esmog, entre las que se incluyen el valle Lower Fraser y el corredor de Windsor a la ciudad de Quebec, para algunos contaminantes.</p>
<b>Sistemas geográficos</b>	El inventario de emisiones suele también presentarse en forma de un mapa nacional para cada contaminante.
<b>Sistema de control de calidad</b>	Monitoreo de las fuente de emisión, guías de referencias, verificación de emisiones en fuentes

## 2.5. Inventarios de emisiones contaminantes atmosféricas en Estados Unidos

En Estados Unidos, el principal inventario nacional de contaminantes atmosféricos de criterio está a cargo de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA), con el apoyo de dependencias estatales, locales, tribales y regionales. Éste inventario, que hoy recibe el nombre oficial de Inventario Nacional de Emisiones (National Emission Inventory, NEI), abarca los siguientes contaminantes atmosféricos de criterio y sus precursores mencionados en orden alfabético: Amoníaco (NH<sub>3</sub>), Compuestos orgánicos volátiles (COV), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Materia particulado (PM<sub>10</sub>), Materia particulada (PM<sub>2.5</sub>), Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Plomo (Pb).

Un contaminante se considera contaminante atmosférico de criterio si la EPA ha establecido para él una norma nacional de calidad del aire (*national ambient air quality standard*, NAAQS) conforme a la Ley de Aire Limpio, a efecto de proteger la salud y el bienestar humanos. El ozono, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, el plomo y las partículas suspendidas tienen todas normas nacionales de calidad del aire, por lo que estos seis contaminantes son considerados contaminantes atmosféricos de criterio (EPA,1999a).

Cabe señalar que si bien el ozono es un contaminante atmosférico de criterio, no se ha incluido en el inventario nacional de emisiones puesto que no es emitido directamente en el aire. Sin embargo, sí se incluyen los precursores del ozono: NO<sub>x</sub> y COV. La lista de COV sobre los que

se debe informar para el inventario se basa en la definición de la EPA de compuesto orgánico volátil, misma que excluye aquellas sustancias químicas que son apenas reactivas fotoquímicamente, por ejemplo: metano, etano y cloruro de metileno, entre otros (EPA,1999b).

El amoníaco está incluido en el NEI puesto que es un precursor de partículas secundarias como sulfato de amonio y nitrato de amonio. El dióxido de nitrógeno es un contaminante atmosférico de criterio. Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), entre los que se incluyen tanto el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) como el óxido nítrico (NO), suelen incluirse en los informes como el equivalente en peso de dióxido de nitrógeno. Así, el número real de toneladas de NO se convierte a su equivalente en masa de NO<sub>2</sub> cuando se integra en el inventario nacional (EPA, 2000a).

El programa del inventario de emisiones estadounidense ha registrado cambios importantes en los últimos años. El nuevo Inventario Nacional de Emisiones (NEI) incluye ahora tanto los contaminantes atmosféricos de criterio y sus precursores, como 188 sustancias químicas consideradas como contaminantes atmosféricas peligrosas de conformidad con las reformas a la Ley de Aire Limpio. Las emisiones de plomo se incluyen hoy en la parte del inventario dedicada a los contaminantes peligrosos. La edición previa, de 1996 en realidad consistía en dos inventarios separados: uno para contaminantes atmosféricos de criterio, designado Tendencias Nacionales de Emisiones (*National Emission Trends*, NET), y el otro para contaminantes atmosféricos peligrosos, conocido como el Inventario Nacional de Tóxicos (*National Toxics Inventory*, NTI)(EPA , 2001a).

Tabla 1.2 Características del inventario de emisiones contaminantes en Estados Unidos

<b>Contaminantes</b>	Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) , Compuestos orgánicos volátiles (COV) , Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Materia particulada (PM <sub>10</sub> ) , Materia particulada (PM <sub>2.5</sub> ) , Monóxido de carbono (CO) Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) , Plomo (Pb)
<b>Año base</b>	Se dispone de estimaciones sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio a partir de 1985
<b>Frecuencia de actualización</b>	Los inventarios subsiguientes se elaborarán en ciclos de tres años (2002, 2005, 2008, etc.). Cabe destacar que la actualización de 2005 coincidirá con la actualización que del inventario canadiense emprenderá Environment Canadá.
<b>Categorías de fuentes</b>	El Inventario Nacional de Emisiones de Estados Unidos suele estructurarse en torno a diez categorías de fuentes principales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de combustibles</li> <li>• Procesos industriales</li> <li>• Utilización de solventes</li> <li>• Almacenamiento y transporte</li> <li>• Eliminación y reciclaje de residuos</li> <li>• Vehículos en carreteras</li> <li>• Motores y vehículos no carreteros</li> <li>• Fuentes naturales</li> <li>• Varios</li> <li>• Fuentes abiertas</li> </ul>
<b>Sistema de clasificación</b>	También a utilizando el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte ( <i>North American Industry Classification System</i> , NAICS) y los códigos del sistema estadounidense de clasificación de fuentes ( <i>Source Classification Codes</i> , SCC), que describen los equipos o las operaciones emisores de contaminantes.
<b>División del inventario</b>	El inventario de emisiones puede desglosarse por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminante específico</li> <li>• Categoría de fuente</li> <li>• Establecimiento</li> <li>• Año</li> <li>• Estado</li> <li>• Condado</li> </ul>
<b>Sistemas geográficos</b>	La EPA exige que describan cómo es que han formulado el inventario y los elementos que éste incluye, por ejemplo: año base, contaminantes, fronteras, escalas espaciales y temporales, aplicación de controles, definición de COV y los COV incluidos.
<b>Sistema de control de calida</b>	Monitoreo de las fuentes mas importantes, guías de referencias , software de control de calidad

## 2.6. Inventarios de emisiones atmosféricas en México

De acuerdo con lo dispuesto por la Legislación Ambiental Mexicana, el gobierno federal tiene la obligación de elaborar y actualizar inventarios de emisiones de las fuentes bajo jurisdicción federal. Los estados están autorizados para formular inventarios de emisiones de todas las demás fuentes, incluidas fuentes móviles, de área y puntuales que no están sujetas a control federal. Esta división de responsabilidades se refleja también en algunas legislaciones estatales, tales como la Ley Ambiental del Distrito Federal, título 5, capítulo III, artículo 133, del 13 de enero de 2000 (LGEEPA, 1996).

Desde 1994, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), dependencia del gobierno federal responsable de asuntos ambientales, ha contado con la colaboración de la Asociación de Gobernadores del Oeste para el desarrollo de metodologías para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas en México. Esta labor ha contribuido a aumentar la congruencia y comparabilidad de los inventarios de emisiones.

Si bien no existe en México un inventario nacional de emisiones atmosféricas integral que comprenda la mayoría de los contaminantes, sí se cuenta con inventarios de emisiones para siete de las principales ciudades y regiones del país. Estos inventarios urbanos están coordinados por la SEMARNAT. Uno de los propósitos de la Secretaría es completar inventarios para todas las ciudades de más de 500,000 habitantes y para todos los corredores industriales de importancia.

Tabla 1.3 Inventarios en las principales ciudades de México

Ciudad	Año de actualización	Categorías	Estatus actual
Zona Metropolitana del Valle de México)	1998,2000	Emisiones industriales	Revisión
Monterrey	1995		Elaboración
Guadalajara	1995	Servicios	Elaboración
Toluca	1996, 2000		Revisión
Ciudad Juárez	1996	Vegetación y suelos	Elaboración
Mexicali	1996		Elaboración
Tijuana	1996		Elaboración

Nota: Información proporcionada por la DIE de la SEMARNAP

La estrategia actual es actualizar todos los inventarios existentes y comenzar cuando menos seis inventarios urbanos adicionales: Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Comarca Lagunera y Coahuila. Buena parte de la experiencia en México se ha derivado de la elaboración y actualización regular del inventario de emisiones de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

El inventario de emisiones más avanzado y completo es el de la Zona Metropolitana del Valle de México, que cubre además de la propia Ciudad de México, las zonas conurbadas del Estado de México, para un área total que alberga a aproximadamente una cuarta parte de la población del país. El Gobierno del Distrito Federal desarrolló el inventario en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y el Gobierno del Estado de México. Los encargados de elaborar el inventario investigaron las fuentes locales a fin de adaptar a las condiciones locales los factores y modelos estándares de estimación de emisiones (AP-42 de la EPA).

Las emisiones estimadas de fuentes puntuales se obtienen de los datos de permisos, encuestas a industrias, y cálculos de ingeniería, así como de los informes obligatorios sobre algunos contaminantes atmosféricos de criterio ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO, partículas y COV) que presentan las plantas industriales en el ámbito federal como parte de esta obligación es la de entregar la Cédula de Operación Anual (COA), que es un formato integrado de reporte industrial y es aplicable a los 11 sectores industriales obligados a presentar informes a las autoridades federales incluyen: petróleo y petroquímica, química, pinturas y tintas, metalurgia (incluida la siderurgia), industria automotriz, celulosa y papel, cemento y cal, asbesto, vidrio, generación de energía eléctrica y manejo de residuos peligrosos. La presentación de informes sobre emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos es actualmente voluntaria. Entre los ejemplos de fuentes puntuales bajo jurisdicción local se cuentan fabricantes de alimentos y bebidas, fabricantes de muebles de madera y fabricantes de bicicletas.

Los inventarios de emisiones se utilizan para modelar la calidad del aire, elaborar los programas de mejoramiento de la calidad del aire (Pro Aire, actualmente en su tercera versión) y evaluar la eficacia de los controles y programas en curso. En algunas ciudades, como la de México, los inventarios de emisiones se usan como parte de los planes de contingencia ambiental, pues ayudan a identificar a las industrias potenciales a participar en estos programas.

Para el inventario de emisiones 2000 de la Ciudad de México se amplió la información sobre emisiones de partículas y por primera vez, se incluyeron partículas menores a 2.5 micras, metano e hidrocarburos distintos del metano, así como entre dos y cinco de los hidrocarburos emitidos en mayores cantidades por ciertos sectores industriales. Esto permitirá identificar a las industrias que liberan hidrocarburos reactivos, a efecto de poderlas controlar durante una contingencia ambiental. Asimismo, se ampliarán los elementos de las estimaciones de emisiones de fuentes móviles para que incluyan los combustibles utilizados y el peso de los vehículos. Se han puesto en marcha diversas iniciativas para uniformar la metodología utilizada (INE, 2001), consolidar las bases de datos, aplicar técnicas de garantía y control de calidad e integrar un inventario de emisiones de alcance nacional.

Tabla 1.4 Características del inventario de emisiones contaminantes en México

<b>Contaminantes</b>	Los siguientes contaminantes se incluyen en todos los inventarios urbanos de emisiones de México, salvo que se especifique su registro en sólo ciertas ciudades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monóxido de carbono</li> <li>• Hidrocarburos totales</li> <li>• Plomo (sólo en Monterrey)</li> <li>• Óxidos de nitrógeno</li> <li>• Partículas suspendidas totales (Monterrey, Guadalajara, Toluca y Ciudad Juárez)</li> <li>• PM<sub>10</sub> (Ciudad de México, Mexicali y Tijuana)</li> <li>• Dióxido de azufre</li> </ul>
<b>Año base</b>	Se dispone de estimaciones sobre las emisiones de contaminantes atmosférico de criterio a partir de 1994.
<b>Frecuencia de actualización</b>	Los inventarios subsiguientes se elaborarán en ciclos de 2 años (1998, 2000, 2002.). No para todas las ciudades.
<b>Categorías de fuentes</b>	Las categorías de fuentes que suelen utilizarse en los inventarios de emisiones en México son las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones industriales</li> <li>• Servicios</li> <li>• Transporte</li> <li>• Vegetación y suelos</li> </ul>
<b>Sistema de clasificación</b>	Clave CMAP editada por INEGI
<b>División del inventario</b>	Cada una de estas categorías de fuentes (salvo la de vegetación y suelos) se divide a su vez en alrededor de 15 subcategorías. Las categorías utilizadas en los inventarios de cada ciudad pueden variar, dependiendo de las actividades específicas en la ciudad.
<b>Sistemas geográficos</b>	Se ha incluido en el formato de cédula de operación anual y se empieza a representar en el sistema geográfico la ubicación de las fuentes industriales
<b>Sistemas de control de calidad</b>	No existe guías unificadas y procedimientos de control de calidad para validar los inventarios internamente.

## 2.7. Evolución de los inventarios en la Zona Metropolitana del Valle de México

Se han desarrollado varios inventarios en la ZMVM, a partir de 1994 se tiene registrados de manera oficial los inventarios de emisiones. Las actualizaciones de los inventarios se realiza cada 2 años por lo que se tienen inventarios hasta el año 2002, el cual se encuentra en revisión final para su publicación en el 2004.

### 2.7.1. Inventario de emisiones industriales de 1996

El inventario de emisiones del sector industrial de la Zona Metropolitana del Valle de México, se integro con información proporcionada al Instituto Nacional de Ecología, a través de la Cédula de Operación<sup>6</sup>. La información se analizo y se proceso para su incorporación al sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas (SNIFF).

Los puntos que se mencionan en el inventario de 1996 son:

- Recepción de la cédula de operación anual
- Análisis de la información
- Cálculos de emisiones.

<sup>6</sup> La obligatoriedad de la presentación de la Cédula de Operación se sustenta en el Artículo 21 del reglamento de la ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de preservación y control de la Contaminación Atmosférica.

Para la realización del inventario de emisiones de 1996 se consideraron tres metodologías, descritas en las técnicas de estimación de emisiones recomendadas para fuentes puntuales en el manual de Inventario de Emisiones para México<sup>7</sup>.

- a. Muestreo en fuente
- b. Factores de emisión
- c. Balance de materiales

Para el año de 1996 se contó con la información de la Cédula de Operación de 5,255 establecimientos industriales asentados en la ZMVM, los cuales fueron agrupados en 15 giros industriales, y se tuvieron registradas 5,225 industrias de jurisdicción federal situadas en las 16 demarcaciones del Distrito Federal y en los 18 municipios conurbados del Estado de México. Prácticamente en todos los establecimientos industriales se llevan a cabo procesos de combustión, que representan las fuentes de mayores emisiones a la atmósfera de éste sector (CAM, 1998).

El proceso de inventario de emisiones no es claro se puede apreciar en la descripción anterior, el control de calidad de la información se hace de manera implícita dentro del proceso de inventario de emisiones y no existe dentro del reporte de inventario de 1996 un análisis de confiabilidad de los datos y control de calidad de la información, en cuanto a las metodologías para el cálculo de emisiones son las recomendadas por la EPA, AP-42 y RADIANT.

### **2.7.2. Inventario de emisiones industriales de 1998**

Para la actualización del inventario de emisiones del sector industrial de la Zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), se utilizó la información que proporcionan los establecimientos industriales en la Cédula de Operación Anual (COA)<sup>8</sup> a la autoridad correspondiente (Secretaría de ecología del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal e Instituto Nacional de Ecología de la Federación). El inventario de emisiones de fuentes puntuales para 1998, está integrado por las emisiones de 6,233 industrias. Es importante mencionar que para fines de cálculo se utilizaron los datos que proporciona la industrial en la cédula de operación anual (COA). Se calcularon las emisiones de 1,584 industrias con datos de 1998, para el resto de las industrias se tomó la información de la COA entregada más reciente a 1998, esto debido a que existen industrias que no cumplieron con la entrega de la COA que contiene datos del año 1998. Con base en la información contenida en la COA se realizó el cálculo de las emisiones, utilizando las siguientes técnicas de estimación de emisiones de fuentes puntuales<sup>9</sup>: factores de emisión, medición en la fuente, balance de materiales y los modelos de emisiones (CAM, 1998).

Las actividades realizadas para estimar las emisiones fueron las siguientes:

---

<sup>7</sup> SEMARNAP y RADIANT (1996). Mexico Emissions Inventory Program Manuals. Vol. IV Point Source Inventory Development.

<sup>8</sup> Los propietarios de establecimientos industriales, mercantiles y de servicios que emitan contaminantes a la atmósfera deberán de reportar cada año el comportamiento de su actividad del año inmediato anterior, mediante el formato de Cédula de Operación Anual o Inventario de Emisiones.

<sup>9</sup> Para un análisis más detallado de estos métodos, referirse al Volumen III: Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones.



- Recepción de la COA'S
- Revisión de datos
- Análisis de datos
- Captura de datos
- Integración de datos
- Control de calidad de datos
- Cálculo de emisiones
- Control de calidad de cálculos
- Reporte de emisiones

Una parte fundamental del desarrollo del inventario de emisiones de fuentes puntuales, fue la identificación y manejo de la información básica contenida en la COA para realizar el cálculo de la emisión, esta información se divide en:

- Información general (datos de registro): nombre o razón social de la empresa, dirección, teléfono y croquis de localización, entre otros. Esta información es indispensable para ubicar físicamente a la empresa.
- Información técnica: número de empleados, horarios de trabajo, descripción y diagrama de flujo de los procesos, materias primas utilizadas, productos obtenidos, cantidad y tipo de combustible, contaminantes generados, equipos de combustión, equipos de proceso, equipos de control, etc. Esta información es indispensable para realizar el cálculo de las emisiones.

La mayor parte de los cálculos de las emisiones, se realizó considerando los datos de actividad como resultado del análisis de la información de la COA y los factores de emisión de la USEPA.

- Muestreo en la Fuente
- Factores de Emisión
- Balance de Materiales
- Modelos de Emisión (mecánicos)
- Encuestas

El inventario de emisiones de la ZMVM 1998, se desarrolló con la misma metodología para cada una de las entidades que intervienen.

### **2.7.3. Inventario de emisiones industriales del 2000**

El desarrollo de un inventario, demanda el procesamiento de una gran cantidad de información, a fin de estimar las toneladas de contaminantes atmosféricos, además el grado de incertidumbre depende de la suficiencia y calidad de la información, junto con el adecuado tratamiento que se le dé a ésta (CAM, 2000). Para la estimación de las emisiones generadas en el año 2000 en la Zona Metropolitana del Valle de México, a diferencia de los inventarios anteriores, se recopiló mayor información. El control de calidad y la metodología empleada es acorde a la recomendada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. El actual inventario de emisiones, al igual

que los anteriores que se han desarrollado para la ZMVM, agrupa las emisiones en cuatro sectores: fuentes puntuales, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes naturales (vegetación y suelos). Sin embargo tiene diferencias, en éste se reportan los compuestos orgánicos totales (COT) en vez de los hidrocarburos totales (HCT), separando el metano (CH<sub>4</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), incluyendo además de las emisiones de: partículas menores a 10 µm (PM<sub>10</sub>), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), las emisiones de partículas menores a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>), y amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Las técnicas utilizadas para estimar las emisiones fueron:

- El muestreo en la fuente
- Modelos de emisión
- Encuestas
- Factores de emisión

El inventario de emisiones para fuentes puntuales en la ZMVM año 2000, está integrado por las emisiones de 4,668 industrias, de las cuales tenemos que 2,709 se encuentran en el Distrito Federal y 1,959 en el Estado de México. Para fines de cálculo, se utilizaron los datos que proporciona el industrial en la cédula de operación anual (COA). Se calcularon las emisiones de 2,110 industrias con información del año 2000, 239 industrias con información del año 1998 y 2,319 industrias con datos históricos (1994 a 1997).

Las actividades realizadas para estimar las emisiones fueron las siguientes:

- Control de calidad de la información de la COA
- Captura de datos de la COA
- Cálculo de emisiones
- Análisis de resultados

Como parte de las mejoras en la realización del inventario de emisiones del año 2000 se modificaron las siguientes variables:

- Establecer factores de emisión por combustión y proceso
- Actualización de las características de los combustibles y solventes.
- Asignación de la clave CMAP (Clasificación Mexicana de Actividades y Productos, censos económicos 1994 INEGI febrero de 1997)
- Consideraciones para el cálculo de las emisiones por combustión y por proceso

A pesar de las evaluaciones hechas por el grupo del Dr. Molina, no existe la unificación de las tres entidades que conforman la Comisión Ambiental Metropolitana, no se ve reflejado en la estructura del inventario de emisiones 2000, en cuanto a la parte del control de calidad solo lo menciona como una de las etapas del inventario no se describe a detalle esta actividad, la EPA ha desarrollado guías para implementar estas técnicas pero la disponibilidad de la información y el

personal capacitado para éste caso no ha sido tomado en cuenta , otro aspecto importante es que la información tendrá que ser adecuada a la situación en México.

Es importante reconocer que un buen sistema de calidad (AC/CC) producirá resultados congruentes si la metodología de estimación lo permite. Algunas estimaciones de emisiones son inherentemente más precisas que otra debido a que están basadas en procesos bien definidos y entendidos y/o las fuentes de datos son específicas. Por ejemplo, las emisiones anuales medidas para una caldera con monitoreo continuo de emisiones (MCE) deberá ser de mayor calidad que las estimar con base en el uso de combustible y usado un factor de emisión.

Debido a los diferentes métodos de estimación de emisiones que pueden usarse, el Emission Inventory Improvement Program (EPA) reconoció que el programa de calidad de un inventario tiene que dirigirse hacia la incertidumbre en la estimación de emisiones y a la calidad de los mismos. La incertidumbre es en su mayor parte una función de la metodología de estimación. La calidad de una estimación es determinada parcialmente por la incertidumbre inherente del método así como también por los procedimientos usados para asegurar que los errores sean mínimos.

## **2.8. Análisis y diagnóstico del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México**

Dos sucesos recientes han dado pauta para que los inventarios de emisiones futuros para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) sean más confiables para apoyar las políticas de control de las emisiones a la atmósfera. Por un lado está el plan de acción para la implantación del inventario de emisiones en México desarrollado por el Instituto Nacional de Ecología (INE). Éste plan incorpora la estandarización de metodologías para el cálculo de las emisiones atmosféricas; describe los mecanismos para validar el uso de las metodologías y sugiere la realización de estudios especiales para actualizar las metodologías con datos locales. Por otro lado, la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) está impulsando el desarrollo de inventario de emisiones para la ZMVM. Para esto, ha constituido un grupo, al interior de la CAM, encargado de definir y desarrollar las acciones para que el inventario de emisiones 1998 sirva como herramienta para la aplicación de modelos de calidad del aire y de las medidas que se implementarán en el III Programa de Calidad del Aire de la ZMVM. Dentro de las acciones que se han contemplado está incrementar el número de categorías en el sector servicios; determinar las emisiones de  $PM_{2.5}$  generadas en el sector industrial y de la erosión de los suelos; la cantidad de amoníaco proveniente de las actividades ganadera y agrícola, así como cuantificar el isopreno y monoterpeno proveniente de las fuentes biogénicas (Molina,2002)

A pesar de los esfuerzos que se han realizado para el desarrollo de los inventarios de emisiones en la ZMVM, el actual plan de desarrollo del inventario de emisiones para 1998 y posteriores, no indica la logística de cómo deberán alcanzarse los objetivos de dicho plan.

### **2.8.1. Estructura del Inventario de Emisiones**

Para que la CAM pueda mejorar el proceso de la toma de decisiones a partir del uso de modelos de calidad del aire, es necesario reestructurar el actual inventario de emisiones de la ZMVM, tanto en su contenido como en los sistemas computacionales utilizados para su manejo. Para esto, es necesario realizar una serie de actividades que garanticen la disponibilidad de esta información y, al mismo tiempo, aseguren un alto nivel de calidad en la información obtenida. En general, las actividades que son requeridas se presentan a continuación en el inventario de 1998 (Molina, 2002).

- Clasificar y codificar las fuentes de emisión.
- Determinar los Perfiles de Emisión (especies de los hidrocarburos y de las partículas que se emiten en cada proceso) para cada tipo de procesos incluido en el inventario de emisiones. Estos pueden ser seleccionados de las bases de datos de la EPA o determinados experimentalmente.
- Asignar el perfil de emisión adecuado a cada tipo de fuente de emisión.
- Determinar las emisiones totales para cada contaminante y fuente de emisión, a partir de los factores de emisión, el tipo de actividad y los controles utilizados.
- Ajustar las emisiones totales de aquellas fuentes que dependen de variables meteorológicas. En particular las relacionadas con la evaporación de combustibles y las emisiones biogénicas.
- Determinar las emisiones totales para cada especie de COV, a partir de los perfiles de emisión previamente asignados a cada fuente.
- Agrupar las especies emitidas de acuerdo al mecanismo químico que será utilizado en la modelación.
- Determinar y asignar los perfiles de emisión como función del tiempo.
- Distribuir espacialmente las emisiones de acuerdo al tipo de fuente.
- Adecuar las bases de información con la malla de cálculo del modelo.

### **2.8.2. Control de calidad para el inventario de 1996, 1998 y 2000**

El proceso de inventario de emisiones es poco explícito, el control de calidad de la información se hace de manera implícita en el proceso de inventario de emisiones y no existe dentro del reporte de inventario de 1996 un análisis de confiabilidad de los datos y control de calidad de la información, en cuanto a las metodologías para el cálculo de emisiones son las recomendadas por la EPA, AP-42 y RADIAN.

Para el año 1998 el desarrollo del inventario de emisiones industriales se modificó el proceso de elaboración se incorporaron más etapas y ya se habla de control de calidad en las primeras 5 etapas y un control de calidad en los cálculos de emisiones, se comenta a groso modo el proceso de control de calidad, se menciona también la validación de la base de datos, pero no describe en ninguna de sus secciones la confiabilidad de la base que sería el resultado de la validación.

Es importante reconocer que un buen sistema de evaluación para el aseguramiento/control de calidad (AC/CC) producirá resultados buenos si la metodología de estimación lo permite. Algunas estimaciones de emisiones son más precisas que otra debido a que están basadas en procesos bien definidos y entendidos y/o las fuentes de datos son específicas. Por ejemplo, las emisiones anuales estima para una caldera con monitoreo continuo de emisiones (MCE) deberá ser de más alta calidad que estimar con base en el uso de combustible usado y que un factor de emisión. Los procedimientos AC/CC que se requieren para asegurar la confianza en la estimación para ambos tipos o métodos. Sin embargo, los procedimientos de AC/CC requeridos para el MCE son más detallados y el tiempo que se requiere es mayor que los requeridos para el enfoque de factor de emisión, además de que se requerirá más recursos para adquirir los datos del MCE.

La experiencia con la que se tiene actualmente en nuestro país es que se tienen deficiencias pequeñas en los procesos de desarrollo de inventarios. (EIIP, 2002). Y no se han desarrollado metodologías para la evaluación del control de calidad.

## **Capítulo 2 Elementos para evaluar la calidad de los datos del inventario de fuentes industriales con emisiones al aire**

### **3.1. El propósito del Inventario**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente contempla la obligación de los estados y la federación de la realización de sus inventarios de emisiones (LGEEPA, 1996). Estos inventarios de emisión al aire se usan para evaluar la calidad del aire de manera indirecta, la reducción de los contaminantes emitidos, y la política medioambiental sobre una escala nacional y regional. Existen pequeñas diferencias en los procesos de desarrollo de inventarios. Es necesario normalizar los procedimientos y generar guías que eliminen variaciones en la interpretación.

Un informe preparado por el Task Force de Naciones Unidas sobre Inventarios de Emisiones (Mobley y Saeger, 1994) enumera tres usos primarios de inventarios de emisiones:

- Evaluaciones de problemas de calidad del aire
- Datos de entrada para modelos de calidad del aire
- Actividades para la regulación de la fuentes

Los tres puntos anteriores son la perspectiva de los gobiernos. Sin embargo, otros grupos desarrollan y usan inventarios para otras razones, las instalaciones industriales preparan inventarios como parte de una aplicación permisible o para mostrar cumplimiento con una norma existente. Los Investigadores pueden también desarrollar inventarios para identificar fuentes de contaminantes y para usarse como base para modelar o investigar medidas de mitigación.

Para un inventario de emisiones que servirá como aporte de entrada a un modelo de calidad del aire, los métodos y las actividades requeridas para validar los datos son más demandantes y requieren la documentación apropiada. Los datos básicos del inventario deberán ser de fuentes específicas, con detalle en variabilidad espacial y temporal. Los inventarios de emisiones usados en actividades regulatorias que definirán opciones políticas, o para demostrar cumplimiento requieren de un nivel más importante de documentación.

Ha habido pocos intentos para definir categorías de inventario en bases a la calidad del inventario. La tabla 2.1 proporciona una propuesta de clasificación formal de inventarios esta clasificación se derivó de la División de Prevención y Control de la Contaminación del Aire de la EPA (APPCD). La APPCD ha delineado cuatro proyectos de categorías generales para proyectos de inventarios en campo esta especifica los complementos requeridos del plan de AC (EPA, 1994).

El punto clave para delinear estas categorías es la comparabilidad de los inventarios. Los procedimientos de evaluación para el Aseguramiento de la Calidad/Control de Calidad deben ser seguidos en el desarrollo de cualquier inventario, y llevar un registro detallado de las actividades planificadas e implementadas.

Tabla 2.1 Definición de nivel del inventario con requerimientos de calidad

Niveles de inventario	Uso del Inventario	Requerimientos	Ejemplos
I	Inventarios de apoyo de aplicación, de acuerdo o litigación de actividades	Requiere de alto grado de calidad. Generalmente involucra muestreo en fuente o balance de masa basado en datos específicos de sitio, y realiza auditorias de equipo, plan tradicional de AC para las actividades de muestreo en fuente.	Monitoreo para cumplimiento.
II	Inventarios que proporcionan datos de apoyo para hacer decisiones estratégicas o establecimiento de estándares	Generalmente se requieren datos específicos en sitio (o regiones específicas), pero no necesariamente muestreo directo en fuente, realización de auditorias de equipo.	Implementación de planes estatales de inventarios.
III	Desarrollo de inventarios para el aseguramiento general o la investigación que no sea utilizada en el apoyo directo de la toma de decisiones.	Puede o no puede incluir medición directa de las fuentes, pero frecuentemente involucra datos específicos de sitio de algún tipo. Los requerimientos de AC pueden ser flexibles.	Evaluación de la efectividad de controles alternos o métodos de mitigación; estudios piloto.
IV	Compilación completa de inventarios de datos previamente publicados u otros inventarios, reunión de datos no originales.	Flexible y variable	Desarrollo de inventarios para propósitos de información; estudios de viabilidad, seguimiento de tendencias

EIIP. 1996. General QA/QC Methods, Final Report, Volume VI, Chapter 3, Quality Assurance Committee, Emission Inventory Improvement Program, Research Triangle Park, North Carolina

Con los elementos antes citados la propuesta para éste trabajo queda de la siguiente forma como se ve en la figura 2.1, principalmente se desarrollan las etapas para evaluar el control de calidad (CC) y queda para otro análisis el Aseguramiento de la Calidad (AC), éste último solo se mencionará por la relación que existe entre los dos componentes AC/CC, los dos elementos constituidos como uno solo forman parte de la regulación existente en Estados Unidos. Esta forma de trabajo la implementa la Agencia de Proyección Ambiental (EPA), y en México no existe este nivel de regulación para la elaboración de los inventarios de esa manera.

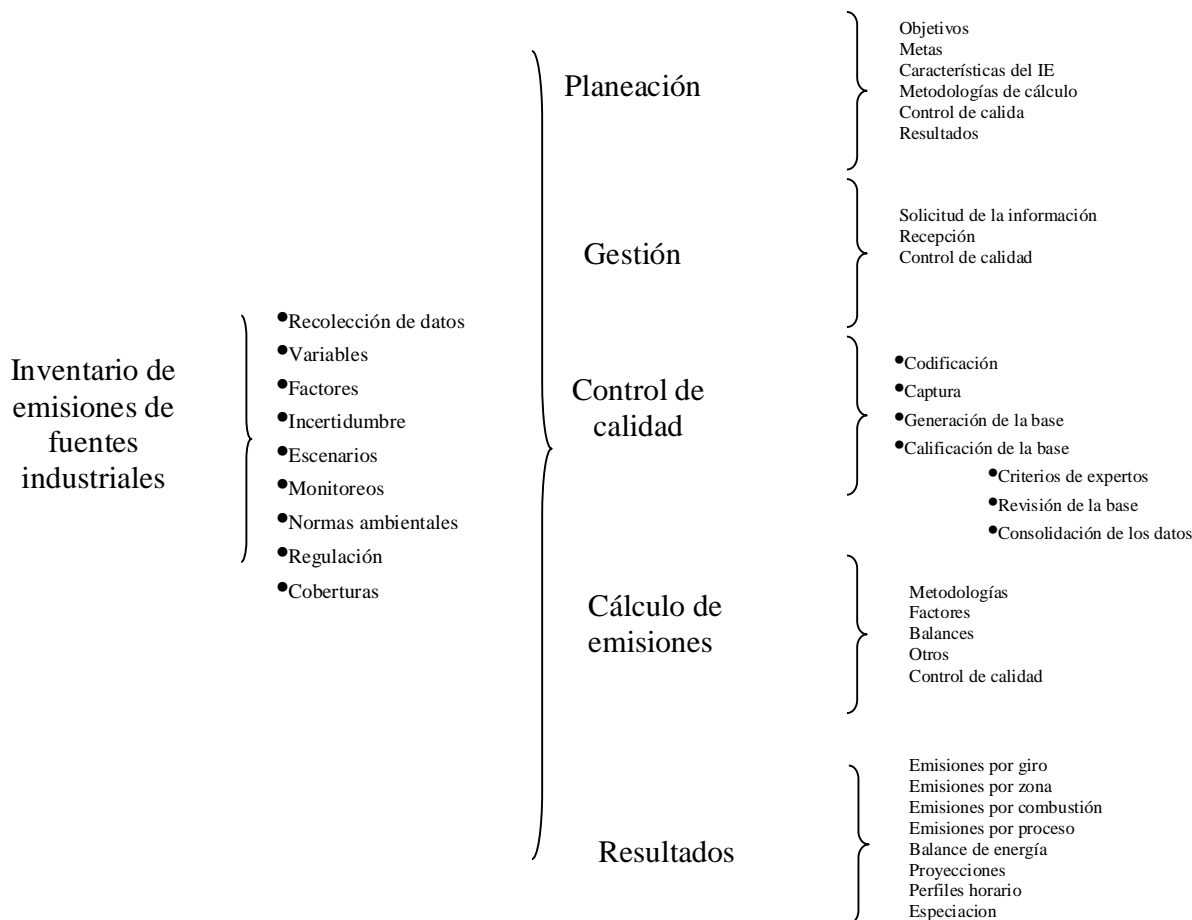


Fig. 2.1 Elementos claves para el desarrollo de un inventario de fuentes industriales con emisiones contaminantes

### 3.2. Objetivos del control de calidad

Los objetivos son para identificar, mejorar, consolidar y, documentar prácticas de Aseguramiento de calidad, los procedimientos son todos los pasos del desarrollo del inventario y la revisión de los procesos. Las herramientas, procedimientos y métodos útiles de Aseguramiento de calidad y el control de calidad (AC/CC) para el inventario se identifican de las inspecciones detalladas de inventarios de agencias de gobierno y del sector privado (Rhonda L, 1999).

Es necesario reducir el número de errores técnicos y de procedimiento o procesos en el inventario. Un error de procedimiento es ocasionado por la carencia de gestión clara y efectiva esto no se limita a: un entrenamiento inadecuado del personal si no también a la planificación



inadecuada. Los errores técnicos son directamente relacionados a los métodos y a las tecnologías utilizadas para desarrollar la estimación de emisiones<sup>10</sup>.

Un error técnico puede ser desde el uso incorrecto del software de inventario de emisiones u hojas de cálculo; el uso de datos incorrectos, metodología, y/o suposiciones; errores matemáticos; o fallas para incluir todas las fuentes de emisión. Un buen programa para la evaluación del Control de Calidad es el mejor mecanismo para disminuir errores técnicos; las actividades de AC pueden llevar errores técnicos también, pero menos reales.

Existen otras herramientas para evaluar numéricamente los inventarios de emisiones. Una de estas herramientas es el análisis de incertidumbre, que es una evaluación de la precisión y la exactitud de una estimación de emisiones. El análisis de incertidumbre más útil es cuantitativo y se basa en las características estadísticas de los datos tales como la varianza y la predisposición de una estimación. Sin embargo, la incertidumbre puede evaluarse *cualitativamente* utilizando el juicio de la experiencia. Típicamente, una clasificación no numérica se usa (p. ej., incertidumbre "alta" o "baja"), en éste trabajo desarrollamos esta calificación numérica en función de la experiencia de expertos en diferentes áreas y los datos históricos de otros inventarios.

Otra herramienta cuantitativa es un análisis de sensibilidad. El efecto de una variable única sobre la estimación de emisiones generadas por un modelo (o cálculo) es evaluado variando su valor mientras se sostienen todas las variables constantes. Los análisis de sensibilidad pueden ayudar a enfocar las actividades de la evaluación del Control de Calidad sobre los datos que tienen el impacto mayor sobre la emisión estimada.

El propósito y uso final del inventario determinará los objetivos de calidad de los datos. Los objetivos de calidad y los recursos e información disponibles determinarán los procedimientos de AC/CC y su propósito. Los procedimientos simples de Control de Calidad tales como entrada de datos y comprobación de cálculos, pueden y deberán implementarse al inicio del proceso y frecuentemente en el proceso. Para mayor comprensión los procedimientos deberán basarse en: Los puntos críticos en el proceso; Los componentes críticos del inventario (p. ej., las fuentes más grandes o importantes); y Las áreas o las actividades donde se anticipan problemas.

### **3.3. Componentes importantes para la evaluación del Control de Calidad procedimientos técnicos**

El Control de Calidad consiste en un sistema de actividades técnicas de rutina implementadas por el personal que desarrolla el inventario, para medir y controlar la calidad del inventario que está siendo desarrollado. El sistema de CC está diseñado para:

- Proporcionar rutinariamente chequeos consistentes y

---

<sup>10</sup> La estimación de emisiones se considera cuando se hace por medio de métodos indirectos como el uso de factores

- Documentar los puntos en el proceso de desarrollo del inventario
- Verificar la integridad de los datos, correcciones y complementaciones.
- Identificar y reducir errores u omisiones
- Maximizar la consistencia dentro de la preparación del inventario y los procesos de documentación
- Facilita los procesos de revisión del inventario internos y externos.

Las actividades incluyen revisiones técnicas, chequeos de exactitud, y el uso de procedimientos estandarizados aprobados para calcular emisiones.

El Aseguramiento de la Calidad (AC) consiste en las actividades externas de AC, que incluye un sistema planeado de los procedimientos de auditoria y revisión conducidos por el personal no involucrado en el proceso de desarrollo de inventario. El concepto clave de éste componente es la revisión objetiva independiente por terceros para evaluar la eficacia del programa interno de Control de Calidad (CC) y la calidad del inventario, y para reducir o eliminar cualquier predisposición inherente en los procesos del inventario.

Una revisión comprensiva del programa de AC proporcionará el mejor indicio de calidad total, integridad, exactitud, precisión, representividad del inventario, y la comparabilidad de los datos reunidos.

Estos dos puntos son deseables, pero el alcance exacto, oportunidad, y el número de revisiones dependerá de los objetivos y recursos disponibles así como también los procedimientos y los métodos que sean usados para estimar emisiones.

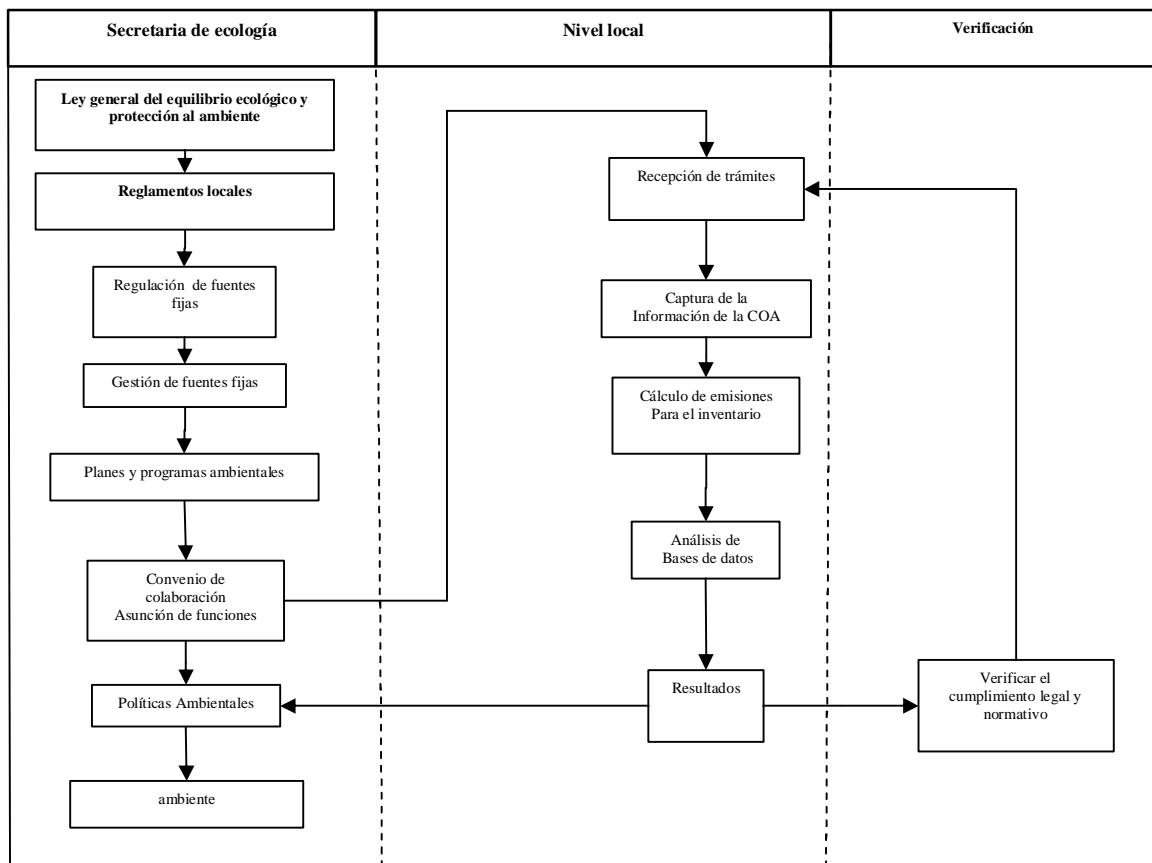
Los errores en la implementación de un sistema de control de calidad conducirá a consecuencias indeseables, tales como: La contaminación de cálculos subsecuentes y de decisiones debidas a equivocaciones iniciales en el proceso. Algunos de los errores que se pueden encadenar son la estimación incorrecta de las emisiones, la sobreestimación de emisiones y Confusión en todo lo relacionado al proceso del inventario.

En una conferencia en 1994 de la Asociación de Gestión de Residuos y Aire, Boothe y Chandler (1994), describieron los pasos cuidadosos usados por la División de Carolina del Norte de Gestión Ambiental (NCDEM) en el aseguramiento de la calidad de los datos de emisiones para la modelación de la calidad del aire. Los autores concluyen: Aunque que el proceso de AC puede tomar esfuerzo y tiempo importante esto ahorrará tiempo finalmente porque se reduce el procesamiento de archivos inválidos de emisión. Además, un sistema completo de AC asegura confianza en los resultados a modelar. Lo cual proporcionará más confianza en las decisiones de regulación resultante.

### 3.4. Gestión de la información de la industria ubicada en el estado de México

La fuente principal de información a partir de la cual se elabora el inventario de emisiones a la atmósfera de fuentes puntuales es el reporte que anualmente entrega la industria a la autoridad ambiental, para renovar su Licencia de Funcionamiento en materia de atmósfera. Éste reporte es la Cédula de Operación Anual (COA), la cual forma parte de los instrumentos que integran el sistema de regulación y gestión ambiental de la industria en el Estado de México.

El flujo de la información de la COA se ve en la figura 2.2. Aunque en algunas ocasiones se describen otras etapas, las mostradas en la figura. 2.2 son las más comunes encontradas en la Gestión en México. A nivel local no se asigna una actividad para el control de calidad lo que trae como consecuencia retrasos en el proceso para la presentación final de los resultados.



Fuentes de información Dirección de Diagnostico Ambiental del Estado de México, 2001

Fig 2.2. Etapas involucradas en el proceso de inventario de emisiones a nivel local

### 3.5. Etapas propuestas para el desarrollo de inventarios de fuentes industriales que generan emisiones al aire a nivel local (PIE)

Para describir las actividades del Proceso del Inventario de fuentes industriales que generan emisiones al aire (PIE) las reagruparemos en 5 etapas generales. La primera etapa es la de planeación del inventario de emisiones, segunda etapa la gestión de la información, la tercer etapa el control de calidad, la cuarta etapa el cálculo de emisiones (ver capítulo 3), la quinta etapa los reportes del inventario (ver capítulo 4), las etapas se pueden ver en la fig 2.3. y se describirán en el punto 2.5.1, algunas son descritas más a detalle por su importancia.

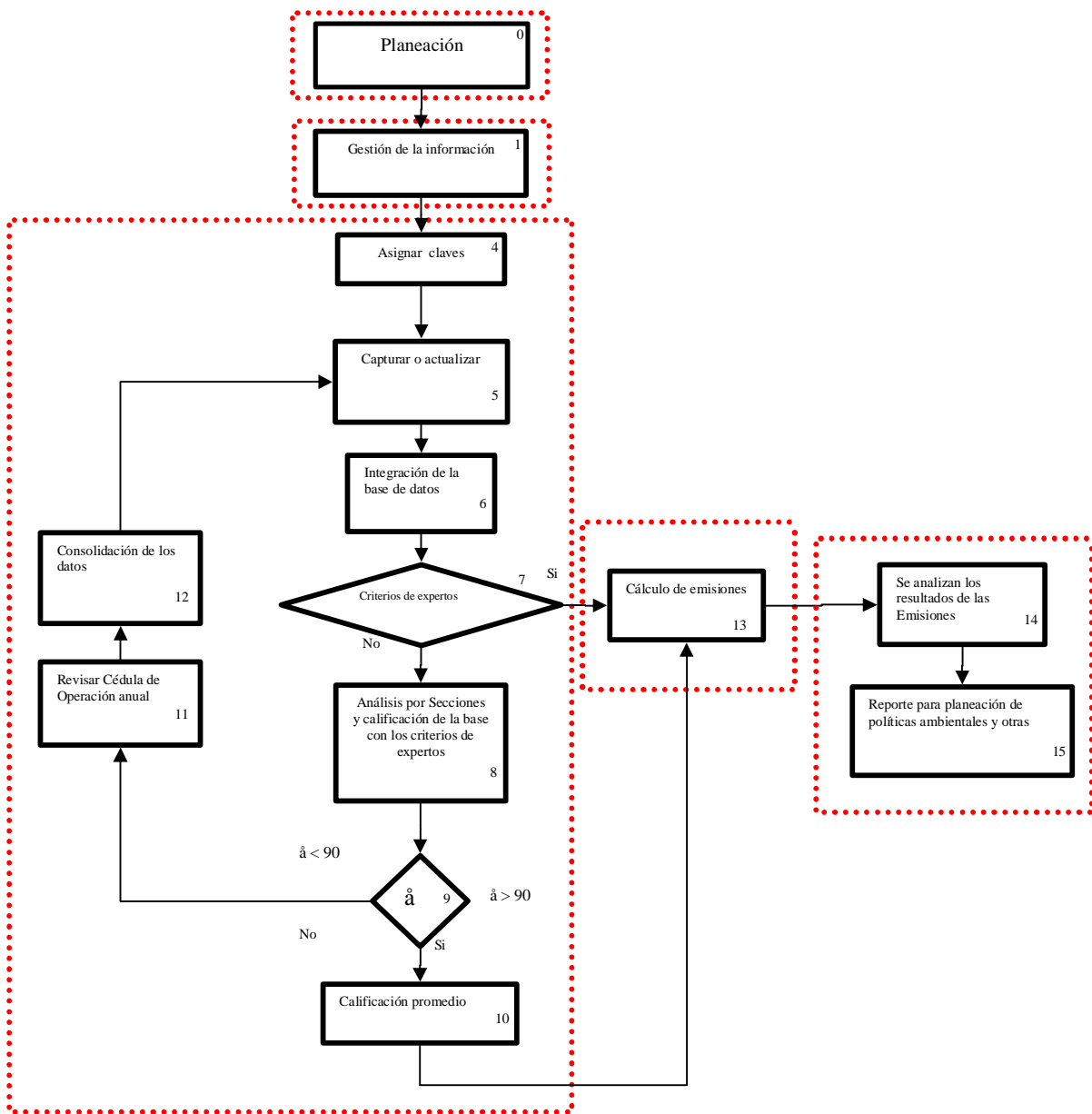


Fig 2.3 Etapas del proceso para el desarrollo del inventario de fuentes industriales que generan emisiones al aire a nivel local (PIE)

### 3.5.1. Planeación del inventario a nivel local

La primera etapa es la planeación del inventario. Es fundamental que antes de iniciarse el proceso para la elaboración del inventario se tome el tiempo necesario para planear los puntos descritos en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Descripción de la planeación del inventario

<b>Objetivo General</b>	Realizar y actualizar el Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de una zona de estudio en un año base de estudio.
<b>Objetivos Específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los contaminantes emitidos a la atmósfera por los diferentes procesos en la industria para la zona y año de estudio</li> <li>• Calcular las emisiones atmosféricas de los diferentes procesos de las fuentes fijas</li> <li>• Distribuir espacial y temporal las emisiones atmosféricas de de fuentes fijas</li> <li>• Desarrollo de escenarios de emisiones por fuentes fijas.</li> </ul>
<b>Metas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrelación con los programas de calidad del aire de la ciudad de México</li> <li>• Mantener y actualizar el inventario de emisiones a la atmósfera por fuentes fijas puntuales de jurisdicción local</li> <li>• Cálculo de emisiones provenientes de fuentes fijas (industria y servicios) de jurisdicción local con base en la COA</li> <li>• Ubicación espacial de las fuentes de contaminación</li> <li>• Ubicación temporal de los contaminantes</li> <li>• Bases de datos al nivel de AGEBS</li> </ul>
<b>Participantes</b>	Identificar a los participantes en el proceso del inventario de emisiones
<b>Descripción de las características del inventario de emisiones.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación de fuentes, definir las categorías de las fuentes a inventariar, tomando como base el artículo 111bis de la LGEEPA y Catálogo Clasificación Mexicano de Actividades Productivas.</li> <li>• Contaminantes a evaluar. Serán evaluados los contaminantes criterios (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y VOC'S.)</li> <li>• Métodos de estimación de emisiones para fuentes puntuales. La estimación de las emisiones en la mayoría de las fuentes, será aplicando muestreo en fuente (industria), factores de emisión, Balance de materiales y modelos mecanísticos.</li> <li>• Encuestas diseñadas para tal efecto como los cuestionarios industriales, las cédulas de operación, etc.</li> <li>• Factores de emisión basados en datos de producción, consumo de materias primas, consumo de combustibles, o en información censal y/o en datos de actividades previamente evaluadas como el consumo de combustibles.</li> <li>• Giros a evaluar</li> </ul> <p><b>CMAP Giro Industrial</b></p> <p>31 Productos alimenticios, bebidas y tabaco.</p> <p>32 Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.</p> <p>33 Industria de la madera y productos de madera</p> <p>34 Productos de papel, imprentas y editores.</p> <p>35 Fabricación de otras sustancias y productos químicos.</p> <p>36 Prod. Minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).</p> <p>37 Industria de metales básicos.</p> <p>38 Prod. Metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. Quirúrgicos).</p> <p>39 Otras industrias manufactureras.</p>

<b>Año base de la información</b>	El año base de la información se tomara el año con mayor información o donde se tenga mas registros para consultar, éste puede ser el año cuando empiecen los programas de regulación y verificación industrial.
<b>Distribución Espacial.</b>	El área de estudio son las demarcaciones territoriales, al nivel de área geoestadística básica (AGEB'S), los datos requeridos para la resolución espacial son (coordenadas UTM y coordenadas geográficas de las fuentes), esta actividad se realizara de acuerdo a la importancia de las fuentes como primer paso es identificar su ubicación mediante los AGEB'S con un trabajo de campo para confirmar estos datos.
<b>Distribución Temporal.</b>	Se realizara la distribución temporal de las emisiones de acuerdo a la información disponible por tipo de actividad y se utilizaran los perfiles horario de producción, con el fin de conocer el comportamiento diario de las fuentes, adicionalmente la temporalidad recopilara un mínimo de datos; como horario de trabajo, horas por día, días por semana y semanas por año, así como porcentaje equivalente de operación por estaciones del año.
<b>Control de calidad</b>	<p>Éste consistirá en</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de actividades del plan de trabajo y tiempos a realizar.</li> <li>• Análisis de la información. Consiste en documentar, ordenar y validar la información de las diferentes fuentes.</li> <li>• Revisión y análisis de los datos capturados.</li> <li>• Validación, revisión y en su caso actualización de los métodos de cálculo empleados.</li> <li>• Análisis de resultados de carácter previo y final</li> </ul>
<b>Tiempo del proyecto.</b>	Se considera como tiempo máximo un año para completar las diferentes actividades del proyecto.
<b>Presentación del reporte.</b>	Reporte ejecutivo con los resultados del inventario de emisiones incluyendo la Memoria de Cálculo escrita y electrónica y un reporte de los principales errores encontrados en el proceso del inventario.

### 3.5.2. Gestión de la información

La segunda etapa agrupa tres actividades y las denominaremos Gestión de la información y contiene las siguientes actividades:

1. Solicitud de la Información
2. Recepción de la información
3. Lista de archivos de la recepción

La Gestión de la información inicia con la obligatoriedad de la entrega de la información esta no es propiamente una actividad a realizar durante el Inventario de Emisiones, ya que está determinada por la legislación vigente para cada entidad, esta, generalmente se entrega en los primeros 3 meses del año, se entrega por única vez en el año, por establecimiento industrial y en el formato de la entidad reguladora.

La Recepción de la información es una actividad básica con la cual empieza el Control de Calidad, la confiabilidad de cualquier inventario depende de la calidad de la información con la que se cuente ya que esta serán las entradas para calcular las emisiones que se alimentaran a los modelos de calidad del aire. Es por ello que los procedimientos de calidad que se apliquen deben ser considerados desde la recepción de la información, en éste caso de la COA, deberá asegurarse que al recibirla contenga por lo menos la información básica indispensable que permita realizar una estimación de emisiones a la atmósfera.

Más adelante se generaran y se propondrán criterios en tres Niveles:

- Para la captura de la información
- Datos técnicos
- Datos con criterios de Ingeniería

Para la recepción se desprende los siguientes puntos a considerar:

- La periodicidad de entrega del formato COA es anual para cada establecimiento
- El formato deberá ser el emitido por las diferentes Secretaría de Ecología
- El contenido del formato deberá representar el desempeño ambiental del año inmediato anterior del establecimiento que reporta
- La información deberá ser fidedigna y confiable
- Las emisiones reportadas deberán ser reproducibles para cotejar el desempeño
- Lista de datos (Check list)

La revisión de estos puntos idealmente debe hacerse por un técnico, que en base en su experiencia ha desarrollado capacidades en esta materia.

### **3.5.3. Control de calidad del inventario de emisiones**

La tercera etapa agrupa 8 actividades y conforman el control de calidad las actividades que se agrupan son:

1. Asignación de claves
2. Captura o actualización de registro
3. Integración de la base
4. Criterios de Expertos
5. Análisis por Secciones
6. Calificación de la base
7. Revisión de la cédula de operación
8. Consolidación de los datos (Corrección de desviaciones)

Los criterios para el aseguramiento de la calidad tienen su sustento en los objetivos del inventario de emisiones. Para el caso de fuentes puntuales y considerando que la principal fuente de información es el formato COA, deberá asegurarse que las industrias reporten las secciones del formato en su totalidad con la información más reciente y confiable, de esto dependerá la calidad del inventario de emisiones.

La información mínima deseable que deberá asegurarse en el reporte es: la ubicación de la fuente a estudiar (industrias, servicios), quiénes son los responsables de esa fuente, clasificación de la fuente por su actividad, horarios de operación, tamaño de la fuente, todos los insumos para el proceso cantidad y unidades, todos los productos cantidad y unidades, el diagrama de proceso para tener un esquema general de la operación de la planta, los equipos de proceso involucrados, equipos de combustión, equipos de control para emisiones, características de ductos y chimeneas y por último si reportan o no emisiones de acuerdo a las actividades específicas y actividad en general que manifiestan.

La primera actividad es la asignación de claves con la que se identificara la industria en nuestro inventario, la segunda actividad es la captura del contenido del formato de la COA. La captura se realiza por gente capacitada en el área, esta captura se puede hacer en medios electrónicos, hojas de cálculo, sistemas de captura o documentación escrita.

En la captura de la información, se identificaron los siguientes puntos importantes que debe cubrir la captura de la información por secciones del formato de COA.

- Datos generales (actividad de la empresa, ubicación, coordenadas etc.)
- Materias primas y productos
- Diagrama de proceso de la empresa
- Equipos de proceso
- Equipos de combustión
- Ductos y chimeneas
- Equipos de control
- Emisiones reportadas

#### **3.5.4. Integración de la información de la Cédula de Operación Anual**

La integración de la base de datos se puede hacer de diferentes formas desde una base en Excel hasta un software dedicado a la captura siempre y cuando la calidad de la información no se vea alterada en éste proceso.



### **3.6. Evaluación del control de calidad de la información**

Para obtener la confiabilidad de la bases de datos se ha desarrollado la metodología que consiste en un análisis multidimensional de los criterios asignados a las bases de datos, para esto se generaron encuestas para expertos en diferentes áreas. Lo que se obtiene con estas encuestas son los datos con mayor importancia para la elaboración del inventario una vez identificados los datos con mayor peso (Munda, 1995).

Para esta evaluación se toma los siguientes pasos:

- a) Definición y estructuración del problema a investigar.
- b) Definición de un conjunto de criterios de evaluación.
- c) Elección entre métodos discretos o continuos: si se conocen el número de alternativas y criterios, se utiliza un método discreto; si éstas son infinitas, se utiliza uno continuo.
- d) Elección del procedimiento de agregación de los criterios.

El punto que se considera es el proceso analítico jerárquico, Esta calificación nos arroja el dato de mayor importancia en el inventario, el cual no servirá para el resto de la valuación del control de calidad para el inventario.

#### **3.6.1. Definición del problema áreas prioritarias**

Los datos recopilados para el inventario tienen una mala calidad debido a diversos aspectos (errores humanos a la captura, falta de validación, uso de unidades diferentes o incorrectas, entre muchos otros), lo que lleva a que la incertidumbre de los datos sea alta. Por otro lado, al tener variables tanto de tipo cualitativo como cuantitativo, el análisis numérico se hace complicado.

Por lo anterior, los datos iniciales se refinan utilizando para ello la opinión de varios expertos, quienes a través de simples comparaciones y evaluaciones proporcionan la información necesaria para determinar los datos que realmente son importantes considerando el objetivo del inventario a partir de criterios de evaluación establecidos. Dicho proceso de refinamiento esta basado en el análisis de similaridad en los datos y a través de éste se eliminan datos superfluos y/o redundantes, se identifican los componentes más importantes de los datos y se detectan inconsistencias entre los expertos ([Felix, et al. 2003).

Se encuestó a seis expertos en diferentes áreas (Ver anexo A), la encuesta consiste en la valoración de los criterios para evaluar la importancia del dato en el inventario. Lo siguiente es un análisis por secciones para calificar la base de datos esta calificación se realiza en tres niveles. A continuación se presenta las áreas que se incluyeron para validar los datos:

- Planeaciones de inventarios de emisiones
- Modelación de la calidad del aire
- Indicadores de desempeño ambiental
- Inventario de emisiones
- Técnicos en inventarios de emisiones

### 3.7. Conjunto de criterios evaluados por expertos

Los criterios tratan de reflejar la necesidad de cada área antes mencionadas, dentro del inventario de emisiones, encontramos dos tipos de variables cualitativas y cuantitativas. El objeto de generar criterio es para cuantificar el peso de las variables (Datos) en el inventario, los criterios fueron propuestos en función de los objetivos del inventario que se explicaron en la etapa de planeación. Se construyó una matriz de expertos en donde el dato del quedo evaluado por cada experto y para cada criterio de la siguiente sección.

- A. Es necesario incluirlo en los objetivos
- B. Es útil para el inventario
- C. Es necesario considerarlo en el inventario
- D. Afecta al inventario
- E. Es representativo
- F. Se puede rastrear el dato
- G. Se puede dar un valor a criterio
- H. Es necesario evaluarlo
- I. Es necesario medirlo
- J. Es necesario compararlo
- K. Afecta al cálculo de las emisiones

La calificación que se asigno para calificar los criterios se describen en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Escala de calificación para evaluar los criterios

<b>Criterio para evaluar</b>	<b>Puntos <sup>A</sup></b>
Es muy importante	5
Si es importante	4
Algunas veces	3
Muy poco importante	2
No aplica/o no se tienen elementos para responder	1

A Audrey Haber , estadística general, propiedades de las calificaciones pag 105

### 3.7.1. Evaluación de los criterios para calificar la base de datos

Lo que se desea obtener con esto son los datos con mayor importancia para la elaboración del inventario una vez identificados los datos con mayor importancia se les asigna un mayor peso en la calificación.

### 3.8. Análisis de las encuestas de expertos

Los datos obtenidos con las encuestas de expertos representan los problemas reales de cada área esto se puede traducir en incertidumbres, datos incompletos y datos faltantes. El análisis de los resultados de las encuestas de los expertos se realizó con la teoría de Rough set theory (RST) (Pawlak., 1982). La teoría es un acercamiento matemático para el análisis de imperfecciones, las inconsistencias y la carencia de datos (Z. Pawlak. 1991). Esta teoría puede ser usada en muchas aplicaciones para el análisis de datos en este estudio; el análisis se realiza a los datos que constituyen la base de datos para el cálculo indirecto del inventario de emisiones industriales (Komorowski, Z. Pawlak, L. Polkowski, and A. Skowron., 1999).

El punto de inicio de la teoría es asumir el conocimiento de un problema dado lo que nos representa la forma de pensar del experto en el área de interés. Es necesario el universo U de los datos a analizar, cada dato es definido por sus atributos, éstos son representados en una tabla matriz llamada sistema de información de expertos (Z. Pawlak., 1991). La matriz nos permite analizar los datos imperfectos y los atributos de los datos, quitando los datos superfluos se mejora la calidad de los datos (Ver anexo B).

### 3.9. Similitud entre criterios

En la tabla 2.3 se observa que los criterios evaluados son similares uno con otro, estos se aprecian con los valores que acercan a 100 % los criterios que son muy similares son: A, B, C, D, E, en cuanto a los criterios que no son similares son: F, G, H, I, J, K.

Tabla 2.3 Similitud entre criterios evaluados por los expertos

Criterios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	100 %	93 %	94 %	91 %	92 %	90 %	78 %	85 %	82 %	82 %	86 %
B		100 %	96 %	92 %	88 %	86 %	73 %	81 %	79 %	76 %	87 %
C			100 %	94 %	90 %	89 %	76 %	84 %	82 %	80 %	88 %
D				100 %	92 %	89 %	79 %	87 %	85 %	82 %	92 %
E					100 %	91 %	83 %	89 %	87 %	86 %	87 %
F						100 %	86 %	92 %	90 %	89 %	86 %
G							100 %	90 %	90 %	92 %	82 %
H								100 %	94 %	92 %	87 %
I									100 %	91 %	86 %
J										100 %	86 %
K											100 %

### 3.10. Consistencia entre la evaluación de expertos

En la tabla 2.4 se desprende el análisis de la evaluación de expertos obtenemos la similaridad entre los criterios evaluados y la consistencia en la evaluación de los expertos en la tabla 2.4 se aprecia que los valores por encima de 60 % existe una consistencia fuerte entre los expertos de las diferentes áreas y el experto pivote, con esto podemos concluir que existe una similaridad fuerte entre los expertos y el pivote, para esta metodología en particular se usaran los puntajes promedio de la evaluación de los expertos estos se describirán en la sección 2.7

Tabla 2.4 Consistencia entre expertos

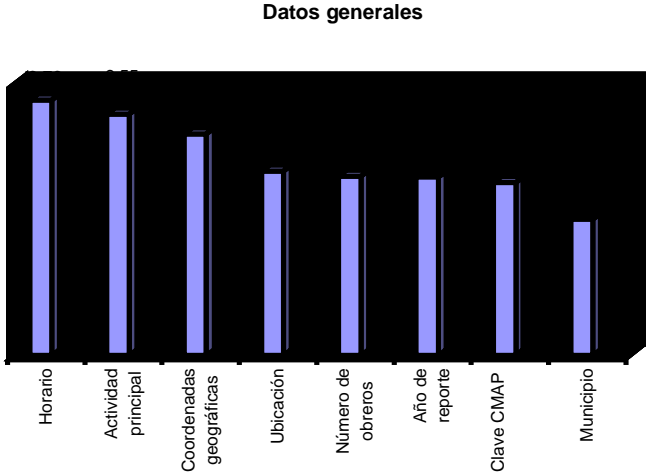
	Pivote	Planeación de inventarios de emisiones	Técnicos en inventarios de emisiones	Modelación de la calidad del aire	Inventario de emisiones	Indicadores de desempeño
Pivote	100 %					
Planeación de inventarios de emisiones	62 %	100 %				
Técnicos en inventarios de emisiones	70 %	74 %	100 %			
Modelación de la calidad del aire	65 %	63 %	58 %	100 %		
Inventario de emisiones	64 %	69 %	77 %	59 %	100 %	
Indicadores de desempeño	64 %	71 %	71 %	72 %	70 %	100 %

### 3.11. Descripción de la evaluación de expertos

#### Sección de datos generales

Para datos generales se tiene que el puntaje promedio máximo otorgado es de 3.76 puntos para el horario, 3.55 puntos para la actividad principal, 3.26 para las coordenadas geográficas, para el resto de los datos están por de bajo de 2.7 puntos, con estos resultado podemos inferir que los datos con mayor importancia son el horario, la actividad principal y, ubicación de la empresa por medio de las coordenadas geográficas.

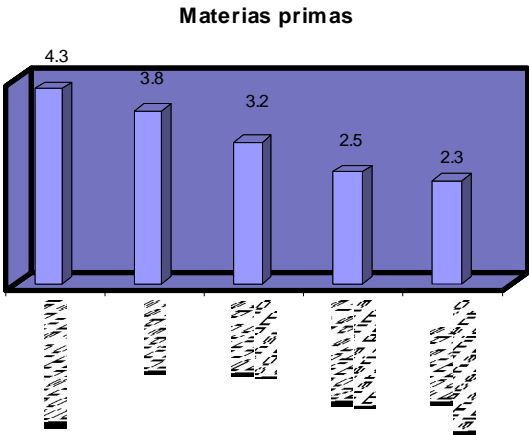
Grafica 2.1 Puntaje otorgado a la sección de datos generales



Sección de materias primas

Para materias primas se tiene el puntaje promedio máximo otorgado es de 4.3 puntos para el consumo anual de las materias primas, 3.86 puntos para las unidades de las materias primas, 3.2 puntos al punto de consumo, con estos resultado podemos inferir que los datos con mayor importancia son el consumo de materias primas y existe una relación con el proceso general o punto de consumo de la materia prima.

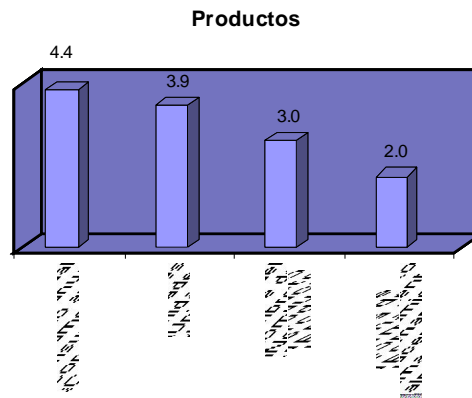
Grafica 2.2 Puntaje otorgado a la sección de materias primas



### Sección de productos

Para productos se tiene el puntajes máximo otorgado es de 4.4 puntos a la generación de producto anual, 3.9 puntos para las unidades de los productos, 3.0 al nombre del producto, con estos resultado podemos inferir que los datos con mayor importancia son la generación anual del producto sus unidades de medición y el nombre del producto el cual no servirá para asignar la clave CMAP.

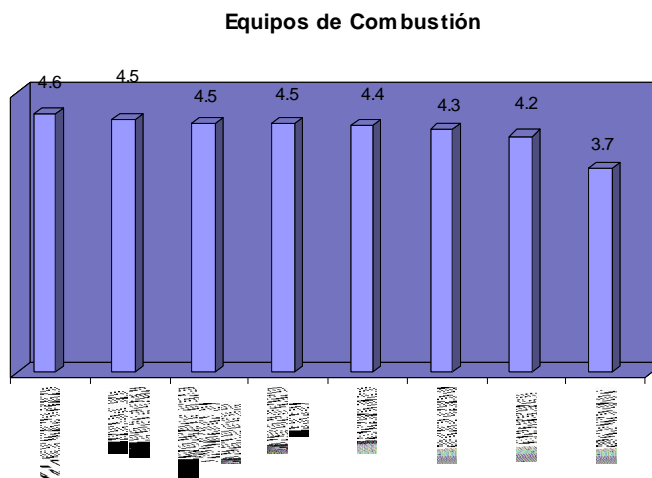
Grafica 2.3 Puntaje otorgado a la sección de productos



### Sección de equipos de combustión

Para equipos de combustión se tiene el puntajes máximo otorgado es de 4.6 para el combustible, 4.5 para el consumo total, horas de operación y proceso al que se relaciona el equipo de combustión , 4.4 para las unidades del combustible, 4.3 para la capacidad del equipo y 4.2 para las unidades del equipo, con estos resultado podemos inferir que los datos con mayor importancia en equipos de combustión son tipo de combustible con su consumo anual y respectivas unidades , y la capacidad del equipo de combustión con su respectiva unidad.

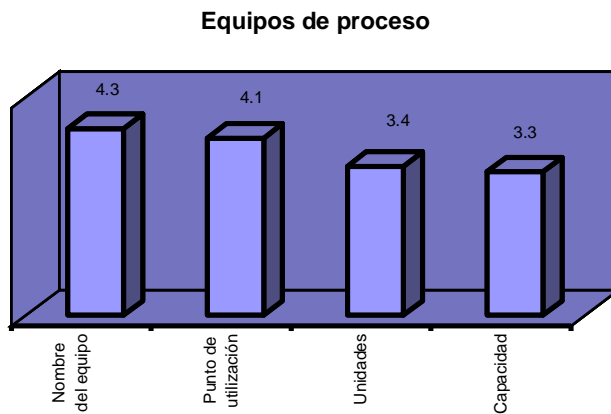
Grafica 2.4 Puntaje otorgado a la sección de equipos de combustión



### Sección de equipos de proceso

Para equipos de proceso se tiene el puntajes máximo otorgado es de 4.35 para el nombre del equipo de proceso, 4.1 para la capacidad nominal del equipo, 3.4 para las unidades de equipo, y por ultimo la capacidad es de 3.3, con estos resultado podemos inferir que es importante saber la capacidad del equipo y el tipo de proceso que se realiza en este.

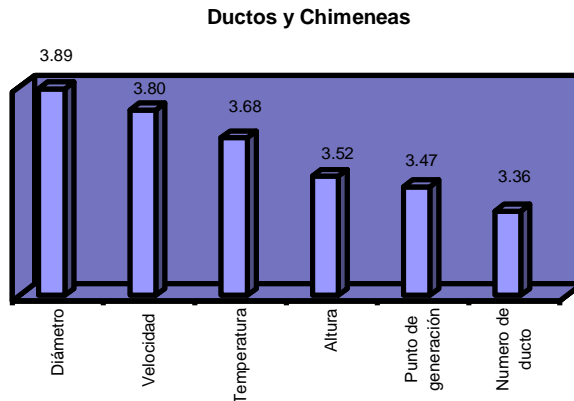
Grafica 2.5 Puntaje otorgado a la sección de equipos de proceso



### Sección de ductos y chimeneas

Para ductos y chimeneas se tiene el puntajes máximo otorgado es de 3.89 para le diámetro del ducto o chimenea, 3.8 a la velocidad de los gases de salida, 3.68 a la temperatura, el resto de los datos por debajo de 3.5 con estos resultado podemos inferir que es importante saber la condiciones de la salida de los gases en la chimenea y las características geométricas del ducto o chimenea es muy importante estas variable cuando se esta calculando las emisiones con estudio de monitoreo.

Grafica 2.6 Puntaje otorgado a la sección de ductos y chimeneas



## Sección de emisiones

Para ductos y chimeneas se tiene el puntajes máximo otorgado es de 4.41 para la cantidad anual reportada, 3.85 para la eficiencia de los equipos de control, y 3.83 para el equipo de control y finalmente 3.86 para los puntos de emisión, con estos resultado podemos inferir que es importante saber la cantidad reportada anualmente y si estas emisiones están o no controladas y la relación que guarda para identificar el punto de emisión en el proceso.

Grafica 2.7 Puntaje otorgado a la sección de emisiones

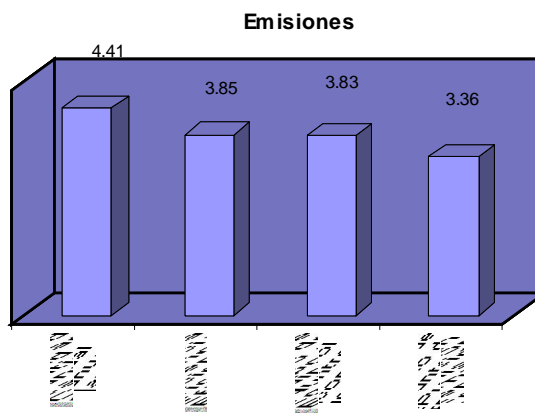


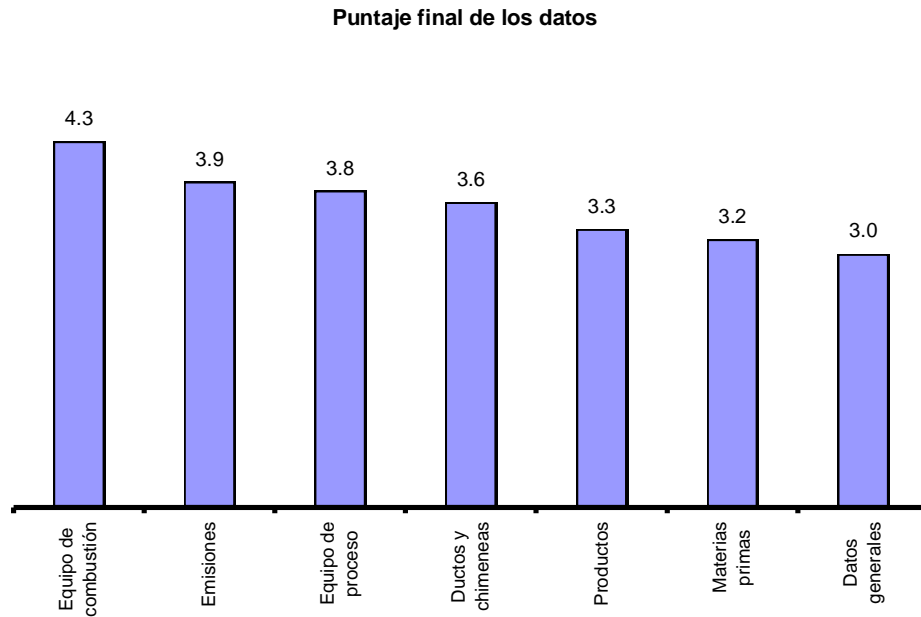
Tabla 2.4 Resumen de puntuación con los criterios de expertos

Secciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Datos generales	4.0	4.1	3.9	3.2	3.4	3.4	2.0	2.4	2.2	2.3	2.2
Materias primas	3.8	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	2.4	2.9	2.7	2.4	3.2
Productos	3.8	4.0	3.8	3.8	3.5	3.3	2.3	3.0	2.8	2.6	3.5
Equipo de combustión	4.5	4.7	4.6	4.8	4.5	4.1	3.7	4.1	4.0	4.0	4.8
Equipo de proceso	4.0	4.1	4.0	4.0	3.6	3.7	3.6	3.5	3.2	3.6	4.0
Ductos y chimeneas	3.3	4.3	4.2	4.1	3.5	3.6	3.0	3.4	3.4	3.1	4.0
Emisiones	4.1	4.4	4.2	4.2	3.7	3.7	3.1	3.7	3.9	3.4	4.1

Para el puntaje final se tiene lo siguiente: los expertos coinciden en la sección que tiene mayor influencia en el inventario es la sección de equipos de combustión y le otorgan una calificación de 4.3, emisiones, equipos de proceso, ductos y chimeneas tienen una importancia relativa menor que la sección de equipos de combustión. En la grafica 2.8 se aprecian estas calificaciones, el resto de las secciones: productos, materias primas, y datos generales tiene una importancia relativa menor al resto de las secciones.



Grafica 2.8 Puntaje final para las secciones de la base de datos



### 3.11.1. Proceso de calificación por secciones

De los resultados obtenidos en la evaluación por expertos se obtiene 7 secciones para calificar los datos en función de 3 niveles de criterios.

- Sección Datos generales
- Sección Materias primas
- Sección Productos
- Sección Equipos de combustión
- Sección Equipos de proceso
- Sección Ductos y chimeneas
- Sección Emisiones

La calificación se realizará en tres niveles el primer nivel consiste en los criterios de captura, el segundo nivel criterios técnicos y el tercer nivel son criterios de ingeniería, el primer nivel se aplica a los datos generales, a las materia primas y a los productos, el segundo nivel y tercer nivel se aplica a los equipos de combustión, equipos de proceso, ductos, chimeneas y emisiones, los niveles que se identifican son:

- Nivel 1 Criterio captura
- Nivel 2 Criterio de técnicos
- Nivel 3 Criterios de Ingeniería o estadísticos

### **3.11.2. Primer nivel descripción de los datos y criterios asignados para evaluar el dato**

Se describen los datos en el inciso a), b), c) y en las tablas 2.5 , 2.6 , 2.7 correspondientes a cada inciso, se da una calificación derivada del análisis de los expertos en donde el mayor peso de la calificación es para el dato mejor evaluado por los expertos. En la evaluación de expertos se incluyó un experto pivote en diferentes áreas el cual fue evaluado por los demás expertos. Otorgándole la capacidad de seleccionar los datos más importantes para evaluar el control de calidad, una vez seleccionado los datos más importantes se realiza una ponderación relativa de los datos y se asignan pesos a los datos seleccionados, la escala de calificación relativa otorgada por el experto pivote es 100.

Para asignar los datos de los criterios se obtuvieron las frecuencias de 1500 registros para cada uno de los datos que se describirán en las tablas 2.5 hasta la tabla 2.11.

#### **a) Datos generales**

**Año de reporte:** El año de reporte que se usa para inventario es el inmediato anterior a la fecha de que se pretende hacer el inventario, también nos da un dato de referencia para darle seguimiento al inventario entre diferentes años, y considerar la regulación de la industria o establecimiento, en algunos casos podemos encontrar desregulación o registros extemporáneos.

**Ubicación:** Los datos de ubicación para el inventario son básicos para tener representada la industria en un sistema de información geográfico, y poder realizar visitas de verificación si fuera el caso. El dato está relacionado a las coordenadas geográficas, y los datos mínimos para ubicarla serían: calle, número, colonia y municipio.

**Número de obreros:** Los datos de obreros y empleados tienen relación estrecha, los cuales nos pueden dar idea de que tan grande es la industria aunque no es muy confiable esto dependería de que tan automatizada u organizada se encuentra la empresa. Para inventario es suficiente el dato de número de obreros para poder analizar a la industria por tamaño.

**Municipio:** Éste dato se encuentra estrechamente ligado con la ubicación del establecimiento y el área de estudio, y solo serán incluidos los municipios que entran al inventario para lo cual se debe consultar catálogo el de municipios.

**Horario:** Para el inventario constituye uno de los objetivos, la temporalidad de las emisiones, también el horario constituye el nivel de actividad de un establecimiento, por ejemplo podemos encontrar un turno, dos turnos, tres turnos y turnos mixtos, generalmente 5, 6, 7 días y 40, 45, 50, 52 semanas de trabajo.

**Coordenadas geográficas:** Sirven para la representación en un sistema geográfico es necesario que el dato esté validado y se encuentre en el área de estudio, esto puede resolverse con la clave catastral o ubicando geográficamente a la industria.

Clave CMAP: La Clasificación Mexicana de Actividades y Productos esta relacionada con la actividad principal, las materia primas y los productos, aunque podemos encontrar que no coincide en algunos casos con la actividad principal; para lo cual se debe asignar una clave CMAP que nos permita agrupar a las industrias por sectores, subsectores o actividades, y para esto se deberá consultar el catálogo de claves.

Actividad principal: Deberá coincidir con el giro o actividad CMAP99 o con el mas actualizado actualmente se esta trabajando para usar el SCIAN<sup>11</sup>.

Tabla 2.5 Calificaciones asignadas a la sección de datos generales

Datos generales	Calificación	Criterios primer nivel <sup>A</sup>
Año de reporte	5	Sin valor 0 , con valor 2 , formato de fecha
Ubicación	5	Sin valor 0 , con valor 5 formato 6 dígitos para longitud , 6 dígitos para latitud
N de obreros y empleados	5	0 si el numero de obrero y empleados es menor o igual que 4 y 5 si el valor es mayor o igual que 5000 (Intervalo para clasificar a una industria de acuerdo con el numero de trabajadores en una empresa)
Municipio	5	Sin dato 0 con dato 5
Horarios	20	Sin dato 0 ,8 en el intervalo de (1250-8736)
Coordenadas geográficas	20	Sin el dato 0 , 30 con el dato de 6 dígitos para latitud , 6 dígitos para longitud
Clave CMAP	20	Sin dato 0 , calificación de 10 con dígitos, 15 con cuatro dígitos, 25 con 6 dígitos (Los 2 primeros dígitos son el subsector , 4 dígitos son la actividad , 6 dígitos la actividad principal) Clasificación de INEGI99
Actividad principal	20	Sin el dato 0, Con el dato 20
<b>Total</b>	<b>100</b>	

## b) Materias primas

Forma de almacenamiento: El tipo de actividades que realiza la industria local no son consideradas riesgosas. Por lo tanto las sustancias que se almacenan no tienen riesgos potenciales

Nombre de la materia prima: Lo primero que nos interesa saber es que exista el dato de la materia prima, que exista una relación con la actividad que realiza y con la clave CMAP.

Punto de consumo: Sólo en caso de hacer un balance de entradas y salidas y calcular la emisión por punto de consumo y generación de emisiones, éstos deberán coincidir de acuerdo al diagrama de flujo que el reporte debe incluir.

<sup>11</sup> Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte

Unidades: Es el dato que nos da el punto de comparación, si hacemos el balance de materiales, las unidades generalmente las podemos encontrar en masa /año, volumen /año, y en otras ocasiones en piezas /año y alguna otra relación de producción

Consumo anual: Esta es la cantidad promedio anual que el establecimiento usa en su proceso, si es posible realizar un balance en masa de entradas y salidas, deberán coincidir con los datos de producción, si no es así se debe buscar la relación; el dato es importante cuando el cálculo de emisiones es por proceso y la materia prima está involucrada directamente en el cálculo.

Tabla 2.6 Calificaciones asignadas a la sección de materias primas

Materias primas	Calificación	Criterios primer Nivel
Forma de almacenamiento	5	Sin dato 0 , con el dato 5
Nombre	10	Sin dato 0 , con el dato 10
Punto de consumo	10	Sin dato 0, con dato 10
Unidades	20	Sin dato 0, con el dato 20 (Las unidades tiene que estar en kg/año, L/año , m3/año ,Piezas, Sacos, Cajas, Barriles)
Consumo anual	55	Sin dato 0 , con dato 55
<b>Total</b>	<b>100</b>	

### c) Productos

Forma de almacenamiento: Las actividades que realiza la industria local no son consideradas riesgosas, es necesario obtener sus hojas de seguridad para tener la certeza de que no son riesgosas las sustancias que se manejen.

Nombre del Producto: Lo primero que nos interesa saber es que exista el dato del producto, que exista una relación con la actividad que realiza y con la clave CMAP.

Unidades: Éste dato nos permite el punto de comparación, si hacemos el balance de materiales las unidades generalmente la podemos encontrar en masa /año, volumen /año, y en otras ocasiones en piezas /año.

Generación anual: Esta es la cantidad promedio anual que el establecimiento genera en un año.

Tabla 2.7 Calificaciones asignadas a la sección de productos

Productos	Calificación	Criterios primer Nivel
Forma de almacenamiento	5	Sin dato 0 , con el dato 5
Nombre	20	Sin dato 0 , con el dato 10
Unidades	30	Sin dato 0, con el dato 20 (Las unidades tiene que estar en kg/año, L/año , m3/año ,Piezas, Sacos, Cajas, Barriles)
Consumo anual	45	Sin dato 0 , con dato 55
<b>Total</b>	<b>100</b>	

### **3.11.3. Segundo nivel descripción del dato y criterios asignados para calificar el dato.**

El segundo nivel consiste en la calificación de datos técnico y a continuación se describe los datos en el inciso d), para los equipos de combustión es necesario calcular la eficiencia térmica (teórica) del equipo de combustión esto se calculara en la sección 2.6.7.

#### **d) Equipos de Combustión directa**

Nombre: Sirve para clasificar el proceso de combustión si este es directo o indirecto existen equipos de combustión de diferentes capacidades desde 10 C.C hasta 3000 C.C, el tipo de combustible que usan es Diesel, Gas LP, Gas Natural y otros, aunque para inventario de emisiones la capacidad no es una limitante para no incluirlos en el inventario, por esta razón se puede calcular para una mayor cantidad de equipos de combustión.

Capacidad: Para normatividad es importante por el tipo de estudio que tendría que reportar la industria de éste equipo, para inventario nos sirve para seleccionar el factor a ocupar para el cálculo de emisiones, también de manera indirecta nos indica la cantidad de combustible que utilizará. Las unidades de capacidad generalmente son unidades de energía, trabajo o potencias, además debemos evitar las unidades de masa o volumen.

Unidades de la capacidad: Ya que la relación de estas con respecto al tipo de combustible es importante revisar, no debe de faltar como dato para el cálculo de emisiones.

Quemador: Para el cálculo de inventario es importante indicar que tipo de quemador tiene el equipo, de este depende parte de la eficiencia en la combustión, para algunos caso el tipo de quemador relaciona un mayor o menor el factor de emisión.

Combustible: Para el cálculo de inventario el tipo de combustible y su calidad son el elemento principal a considerar sin el dato nos es posible realizar el cálculo de emisiones, la calidad y el tipo de combustible guarda la relación para identificar un combustibles mas limpio, los combustibles mas comunes tenemos Gas Natural, Gas LP, Diesel, Combustóleo, Gasóleo y gasolina, es importante revisar la Norma Oficial Mexicana 086 de calidad de combustibles.

Horas de operación: Con esto podemos tener el dato de actividad real del equipo de combustión, se puede relacionar con la capacidad y el consumo total.

Unidades: Ya que la relación de estas con respecto al tipo de combustible es importante revisar, no debe de faltar como dato para el cálculo de emisiones, podemos encontrar unidades de masa, volumen y en ocasiones para gas natural en unidades de energía.

Consumo total: es la cantidad facturada al año, es el acumulado mensual de combustible utilizado, y deberán reportar el consumo equipo por equipo si no así se tendrá que corregir el dato.

Tabla 2.8 Calificaciones asignadas a la sección de equipos de combustión

Equipo de combustión	Calificación	Criterios Segundo Nivel y Tercer Nivel
Nombre	5	Sin dato 0 , con dato 5
Capacidad del equipo	5	Sin dato 0 , con dato 5 si el dato de capacidad estas en unidades de Energía , trabajo , potencia , calcular la capacidad en kcal/hr
Unidad del equipo	5	Sin dato 0 , con dato 5 si el dato de unidades esta en volumen o en energía.
Quemador	5	Sin dato 0 , con dato 5
Combustible	5	Sin dato 0 , con dato 5 el tipo de combustible que se puede encontrar es Gas Natural , Gas LP, Diesel, Combustóleo , Gasóleo y Gasolina
Unidades del consumo	30	Sin dato 0 , con dato 30 las unidades que se pueden encontrar son en masa, volumen y en energía.
Consumo total	40	Sin dato 0 , con dato 40 , calcular la cantidad de energía del combustible en kcal/hr y dividirlo entre la capacidad del equipo si la relación esta entre 10 y 100 la calificación es la máxima y si esta fuera de estos limites la calificación es la mínima.
Horas de operación	5	Si dato 0 , con dato 5
Totales	100	

#### d) Equipos de combustión indirecta (Proceso)

Nombre del equipo: Es útil para saber el proceso que se esta realizando y poder evaluar la necesidad de calcular sus emisiones por cualquiera de las metodologías existentes.

Punto de utilización: Relaciona la ubicación dentro del proceso en donde se esta realizando la actividad y esta puede generar emisiones, es importante cuando se realizan inspecciones y es necesario ubicar los puntos críticos a verificar.

Capacidad: Nos relaciona la cantidad de producto o materias primas procesadas, esta relaciona nos permite evaluar por medio de factores de la EPA, la cantidad de emisores por tonelada procesada.

Unidades: Es el dato que nos da el punto de comparación, si hacemos un balance de materiales, las unidades generalmente las podemos encontrar en unidades de energía, y en otras ocasiones en piezas /año y alguna otra relación de producción.

Tabla 2.9 Calificaciones asignadas a la sección de equipos de proceso

Equipo de proceso	Calificación	Criterios Segundo Nivel
Nombre del equipo	25	
Punto de utilización	25	Que guarde relación con el diagrama de proceso en especifico con los proceso el mínimo valor es 0 y el máximo valor es 25
Capacidad	25	Sin dato 0 , con dato 25 si el dato de capacidad estas en unidades de Energía , trabajo , potencia , calcular la capacidad en kcal/hr
Unidad	25	Sin dato 0 , con dato 25 si el dato de unidades esta en volumen o en energía.
Totales	100	

### e) Chimeneas y ductos

Número de Chimenea: El número de chimenea es importante para relacionar el punto o los puntos de generación de emisiones, e interviene en el cálculo de las emisiones si estas se realizan por monitoreo.

Punto de generación. Este dato nos da información del equipo, proceso o actividad que se relaciona con la generación de las emisiones.

Altura: Generalmente se asocia al diseño del ducto o chimenea, esta debe cuidarse en relación a la geometría y a la norma de chimeneas y ductos, es importante cuida la unidades en las que se exprese la altura esta pueden ser en metros, pulgadas y pies.

Diámetro: Generalmente se asocia al diseño de la chimenea, esta debe cuidarse en relación a la geometría y a la norma de chimeneas y ductos, es importante cuida la unidades en las que se exprese la altura esta pueden ser en metros, pulgadas y pies.

Velocidad: El dato de velocidad a la que se refiere es la velocidad a la que salen los gases de combustión este dato esta directamente relacionado con el gasto volumétrico y el cálculo de las emisiones, la variable de velocidad en muy sensible sobre todo por las unidad es las que se expresa así que hay que cuidar que se exprese en m/s, in/s, ft/s siempre y cuando las unidades de altura, diámetro se exprese en el mismo sistema métrico que el diámetro.

Temperatura: Es importante cuando se calculan las emisiones por norma, y nos da relación de cuanta energía se esta perdiendo en la salida de los gases de combustión, también es importante saber el dato para tomar las medidas adecuadas cuando se realiza un monitoreo en chimenea las altas temperaturas dañan los equipos.

Tabla 2.10 Calificaciones asignadas a la sección de ductos y chimeneas

Ductos y chimeneas	Calificación	Criterio segundo y Tercer Nivel
Numero de ducto	10	Que guarde relación con consecutiva con respecto al resto de lo ductos o chimeneas en la empresa
Punto de generación	10	Que guarde relación con el diagrama de proceso en especifico con lo proceso de combustión
Altura	20	La altura para los ductos debe ser de e 2.5 m hasta 16 m altura y para la altura de las chimeneas se tiene desde 9 hasta 17 m de altura, el valor el dato sin valor es 0 con valores fuera de los intervalos 10 y dentro del intervalo 20
Diámetro	20	El diámetro del ducto puede estar entre , 15 ,20, 25 y 30 cm y para la diámetro de la chimenea puede estar entre 45 cm hasta 1 metro de diámetro, el valor el dato sin valor es 0 con valores fuera de los intervalos 10 y dentro del intervalo 20
Velocidad	20	La velocidad el intervalo estará entre 2 m/s y 9 m/s , el valor el dato sin valor es 0 con valores fuera de los intervalos 10 y dentro del intervalo 20
Temperatura	20	La temperatura en grados centígrados puede estar con un valor mínimo de 20 hasta 300, el valor el dato sin valor es 0 con valores fuera de los intervalos 10 y dentro del intervalo 20
<b>Total</b>	<b>100</b>	

## f) Emisiones

Punto de emisión: El punto de emisión relaciona a la chimenea y el punto de generación.

Cantidad anual: La cantidad anual es el resultado de la generación de emisiones en un proceso, hay varias formas de calcularlo para cumplir con la norma es necesario medirlo en la chimenea, cuando se tiene duda de la medición estos se puede calcular con factores de emisión.

Equipo de control: Para reportar las emisiones finales es importante saber si cuenta con equipo de control para restar las emisiones que se controlan de las emisiones que se generan.

Eficiencia: El dato es necesario para calcular la cantidad de emisiones que se reduce si tiene equipos de control.

Tabla 2.11 Calificaciones asignadas a la sección de emisiones

Emisiones	Calificación	Criterios Tercer Nivel
Punto de emisión	5	Que guarde relación con el punto de generación y el de emisión
Cantidad anual	45	Determinar la contribución de la emisión en el total del inventario
Equipo de control	25	Si Cuenta con el equipo de control la calificación es 0 y si tiene un equipo de control el valor es 25
Eficiencia	25	El valor de la eficiencia debe estar entre 10 y 90 , si esta por fuera de estos limites el valor de la calificación es 0 y si esta dentro de los niveles es 25
<b>Total</b>	<b>100</b>	

### 3.11.4. Tercer nivel asignando valores a los equipos de combustión

Para el caso en donde no se tiene datos de consumo de combustible o no se tiene las unidades de combustible es necesario hacer un balance de energía para poder asignarles un consumo teórico que estará en función de las horas de operación, combustible y edad del equipo de combustión, otro dato importante es la eficiencia térmica teórica que se cálculo en el segundo nivel los valores que esta por de bajo de una eficiencia de 10 y por arriba de 100.

Para obtener la relación  $q/Q$  que representa la eficiencia teórica es necesario convertir el consumo de combustible a Kcal/hr, esto se obtiene con el consumo de combustible, el poder calorífico del combustible y las horas de operación del equipo de combustión, en cuanto a la capacidad térmica del equipo de combustión solo es necesario cambiar las unidades que se tenga registradas a unidades en Kcal/kr. Si la eficiencia es  $10 > \eta$  y  $100 < \eta$  esta por encima de estos intervalos es necesario revisar.



$$\zeta = (q/Q) * 100$$

**Ec 2.1**

Donde:

- $\zeta$  Es la eficiencia teórica del equipo de combustión
- $q$  Es la cantidad de energía del combustible
- $Q$  Es la capacidad térmica del equipo de combustión

Si la  $\zeta$  es menor que 10 revisar el consumo de combustibles y las unidades del combustible.

Si la  $\zeta$  es mayor que 100 revisar la capacidad del equipo de combustión y las unidades del equipo de combustión.

Una vez revisando estos dos datos, obtener la capacidad del equipo, horas de operación y edad del equipo con estos datos asignarle un consumo teórico. Como se indica en las graficas 1, 2,3,4 que indica el consumo teórico en función de la capacidad del equipo y la edad.

Para la construcción de las graficas 1,2,3,4 se analizaron los datos de 1500 equipos de combustión los cuales no presentaron ninguna relación ya que para evaluar la eficiencia térmica necesitamos mas variable . No solo el consumo de combustible y la capacidad del equipo, por lo que se considero el mismo principio de la  $\zeta$  teórica en la cual se consideran las pérdidas de la eficiencia por varias razones.

Un factor importante es la edad del equipo de combustión de acuerdo con la teoría de de eficiencia energética (Cosidine ,1989) los equipos baja su eficiencia en función del los años de operación y el mantenimiento del equipo asumiendo también los cambios tecnológicos, para poder asignar un consumo a un equipo de combustión es necesario calcular el consumo de combustible en función de la eficiencia y la edad como de ve en la tabla 2.11, se analizaron 1500 registro de equipos de combustión para sacar los intervalos de años.

Tabla 2.12 Eficiencia de equipo por edad

Edad del equipo	Eficiencia teórica de equipo	Perdidas del energía <sup>A</sup>
1-10	80	0.6
10-20	50	0.6
20-30	25	0.6
30-40	10	0.6

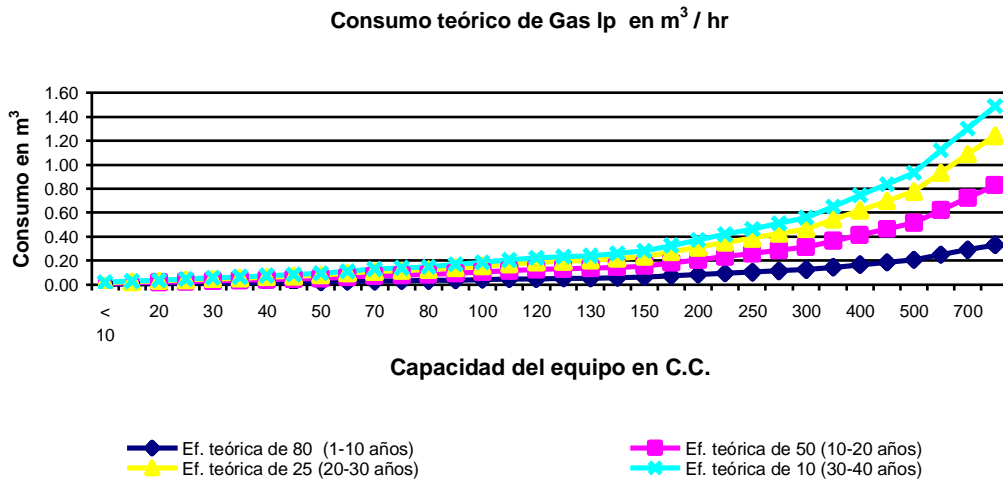
A Las pérdidas se considera constantes

### Consumo de gas lp

Con la capacidad del equipo de combustión y la edad del equipo se obtiene de la gráfica 2.9 el consumo teórico en m<sup>3</sup>/hr de gas lp que se asignara al equipo que no cuenta con un consumo de

combustible, así también para los consumos de los equipos que la eficiencia esta por de bajo de 10 y por encima de 100 se asignara el consumo de acuerdo a la grafica 2.9.

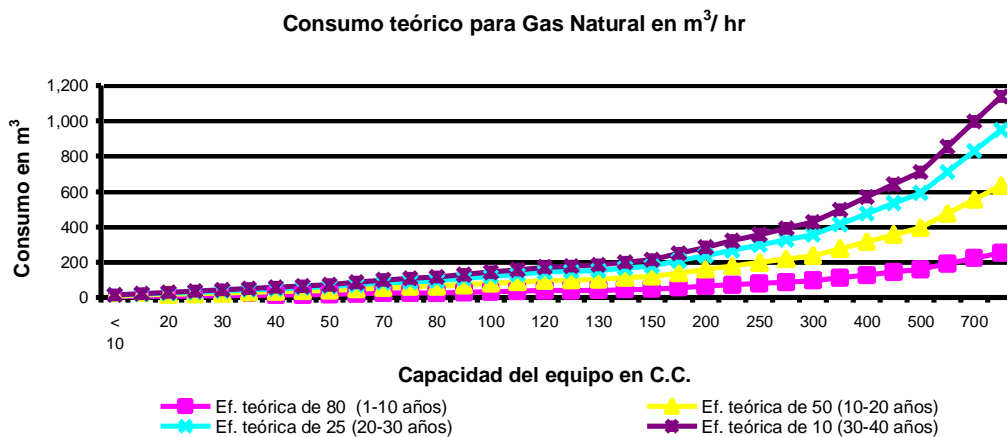
Grafica 2.9 Consumo de teórico de combustible Gas lp



### Consumo de gas natural

Con la capacidad del equipo de combustión y la edad del equipo se obtiene de la grafica 2.10 el consumo teórico en m<sup>3</sup>/hr de gas natural que se asignara al equipo que no cuenta con un consumo, así también para los consumos de los equipos que la eficiencia esta por de bajo de 10 y por encima de 100 se asignara el consumo de acuerdo a la grafica 2.10.

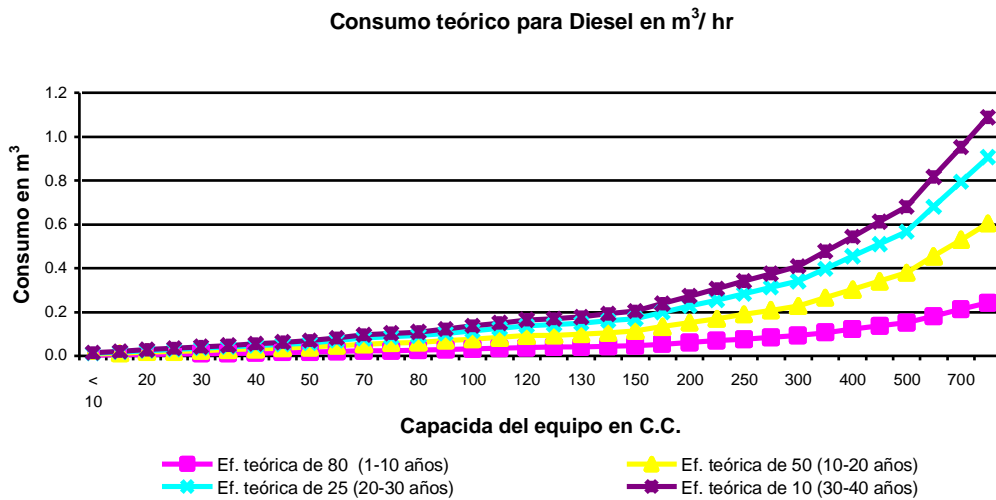
Grafica 2.10 Consumo teórico de gas natural



## Consumo de diesel

Con la capacidad del equipo de combustión y la edad del equipo se obtiene de la grafica 2.11 el consumo teórico en  $m^3/hr$  de diesel que se asignara al equipo que no cuenta con un consumo, así también para los consumos de los equipos que la eficiencia esta por debajo de 10 y por encima de 100 se asignará el consumo de acuerdo a la grafica 2.11.

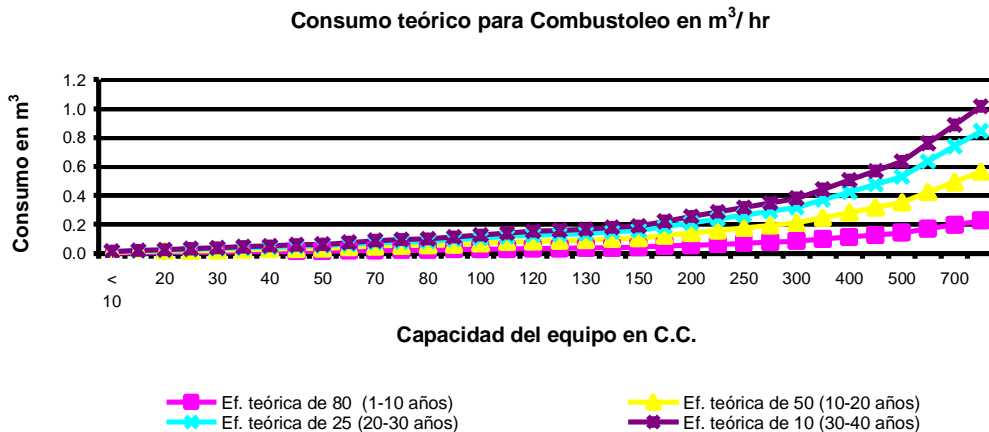
Grafica 2.11 Consumo teórico de diesel



## Consumo de combustóleo

Con la capacidad del equipo de combustión y la edad del equipo se obtiene de la grafica 2.12 el consumo teórico de combustóleo que se asignara al equipo que no cuenta con un consumo, así también para los consumos de los equipos que la eficiencia esta por de bajo de 10 y por encima de 100 se asignara el consumo de acuerdo a la grafica 2.12.

Grafica 2.12 Consumo teórico de combustóleo



### 3.11.5. Calificación por secciones

El proceso de calificación como se ve en el diagrama 2.3 se hace a cada una de los registros que conforman la base de datos de la industria local. Como el número de industrias puede variar de un año a otro y de una entidad a otra el proceso de calificación es iterativo para cada uno de los secciones de datos que se están calificando. Se califica como se indico en la sección 2.6.4; se obtiene un  $\alpha$  que es el nivel de confianza que se considero para una muestra estadística, esto solo permite el 10 % del error en cada una de las secciones que se esta valorando lo que significa que cada una de las empresas puede o no tener ese dato y no será significativo en el resultado del inventario, por debajo de este valor de  $\alpha$  será necesario revisar las desviaciones de los datos y corregir el dato. Una vez terminado el proceso iterativo de valoración se promedian los  $\alpha$  y se obtiene el valor final de la base de datos que representa la confiabilidad de la base de datos en función de los criterios de expertos y los niveles de calificación, este dato nos permite determinar la incertidumbre del inventario y poder dar juicios de valor para considera el inventario de alta o baja calidad.

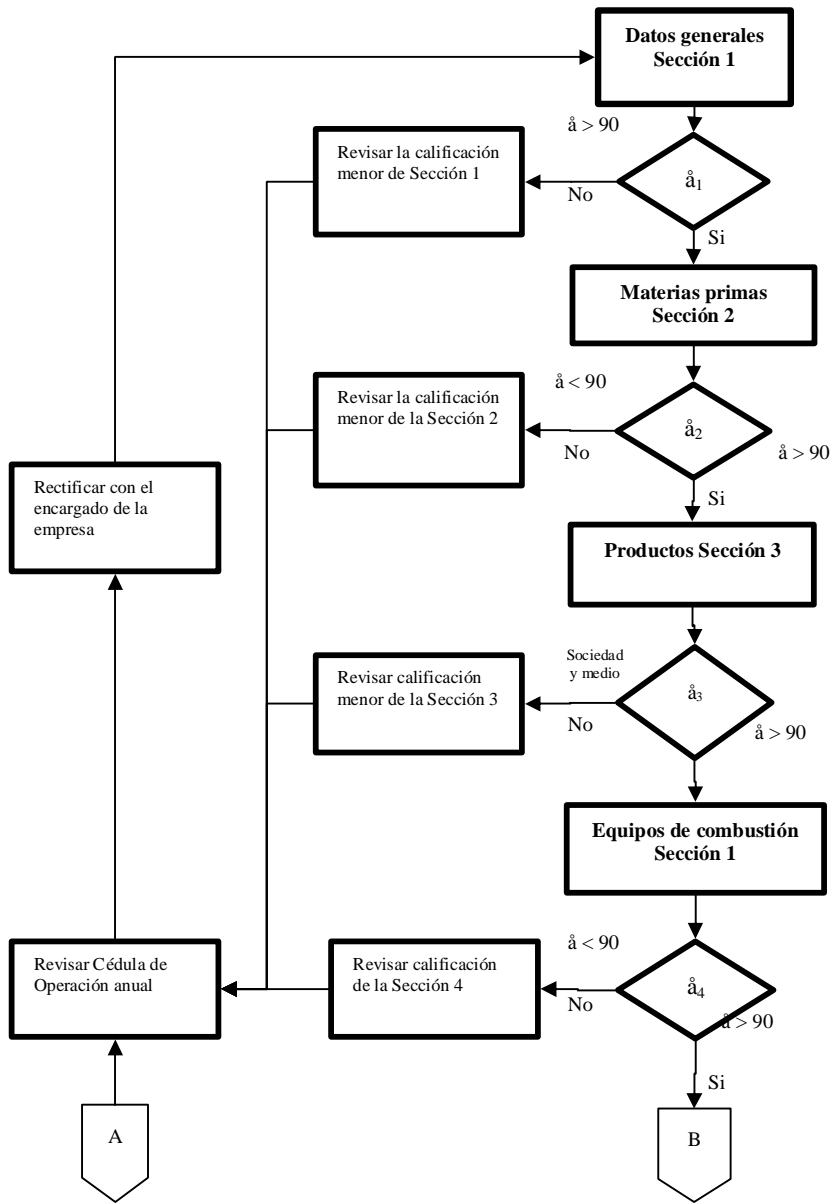


Diagrama 2.3 para calificar por secciones la base de datos

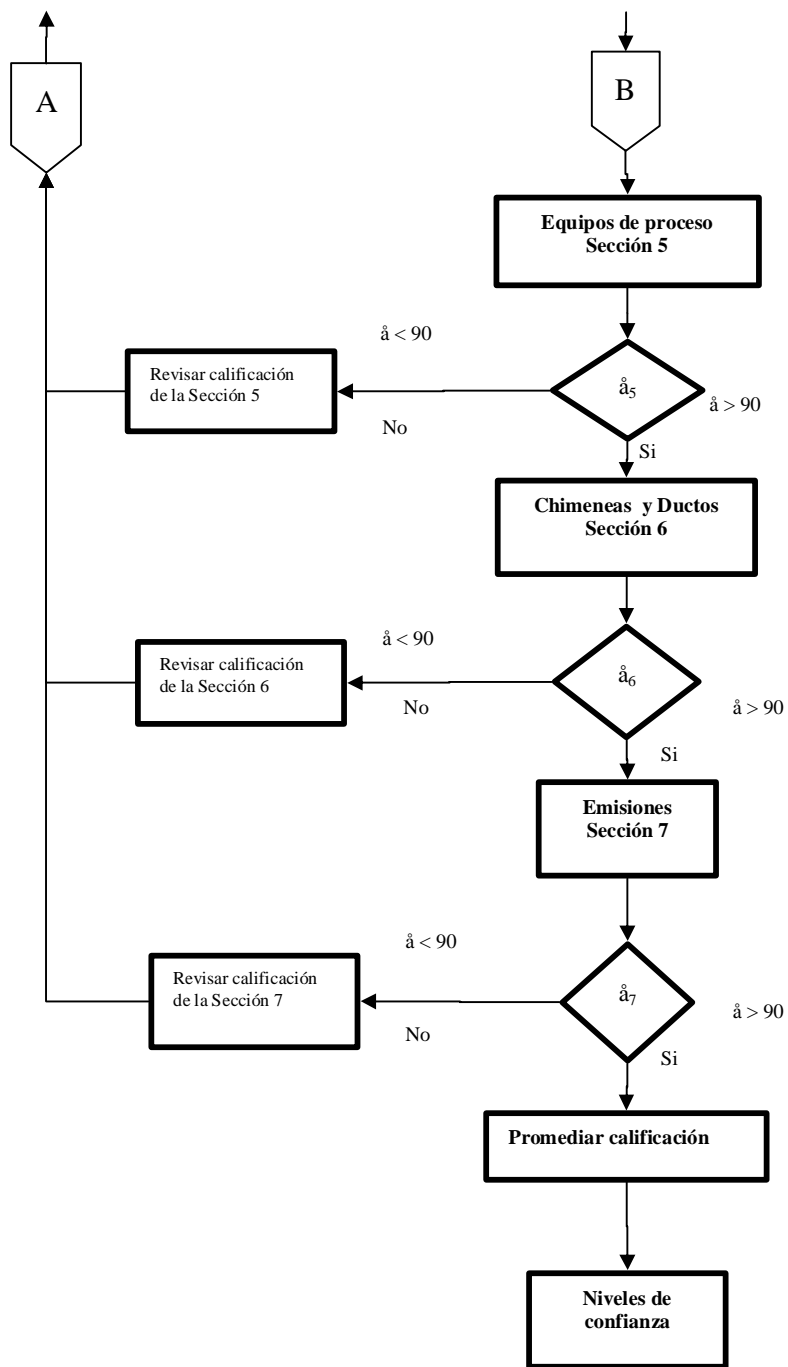


Diagrama 2.3 para calificar por secciones la base de datos

### **3.11.6. Desviaciones encontradas y corrección de las desviaciones**

De la calificación asignada para cada dato se obtiene un **á** este es la calificación final de la sección, para identificar la desviación es necesario revisar el valor menor de cada sección de datos, una vez identificado el dato se revisa contra la información original esto para el caso del primer nivel de los datos y para el segundo y tercer nivel se puede verificar o rastrear el dato vía telefónica con el personal técnico encargado de la información en la industria, y si no se tiene tiempo para esta actividad se puede obtener información histórica estadística del comportamiento de los datos con otros inventarios para obtener rangos permitidos que pueda ser sustituidos en la base de datos, y finalmente el dato se puede obtener con criterios de ingeniería se documenta adecuadamente y se sustituye el dato.

### **3.11.7. Análisis del resultado de las emisiones**

El proceso de cálculo se hace iterativo, la metodología de cálculo y los factores se discutirán en el capítulo 3. Primero se calcula el inventario de emisiones con la base preliminar previamente calificada con los niveles de criterios, sin hacer correcciones a las desviaciones encontradas. Los resultados de las emisiones se agrupan por giro industrial o simplemente por totales y por contaminantes, siguiendo con el proceso iterativo se corrigen las desviaciones del nivel 2 y se recalcula el inventario. Finalmente se corrigen las desviaciones encontradas del nivel tres y se recalcula el inventario de emisiones, se compara los tres escenarios calculados, es importante no olvidar documentar todos los cambios realizados a la base de datos una vez documentado todo se da por finalizado el proceso del control de calidad.

### **3.11.8. Puntos críticos en el proceso de inventario**

Para la evaluación de los puntos críticos se considero el tiempo de respuesta y las actividades rutinarias que pueda acarrear errores, estos puntos son en la recepción de la información ya que no existe control de calidad de la información que se recibe, esta actividad tiene su tiempo establecido que es en los 3 primeros meses del año, después de ese tiempo se inicia el resto del proceso del inventario, durante el proceso se identificaron varias actividades en las que se emplea mucho tiempo y son rutinarias estas son la captura de la información y el cálculo de emisiones. La mayoría de los inventarios que están publicados han tenido un promedio de 2 años para la elaboración (CAM, 2002) por lo que los resultados no son actuales en el momento que se necesitan hacer planes y programas.

### **3.11.9. Sistematización de las etapas con mayor tiempo en el proceso de elaboración del inventario**

Con la identificación de los puntos críticos en el proceso del inventario se desarrolló lo necesario para sistematizar el proceso interno del inventario de emisiones, este consiste en el diseño de las

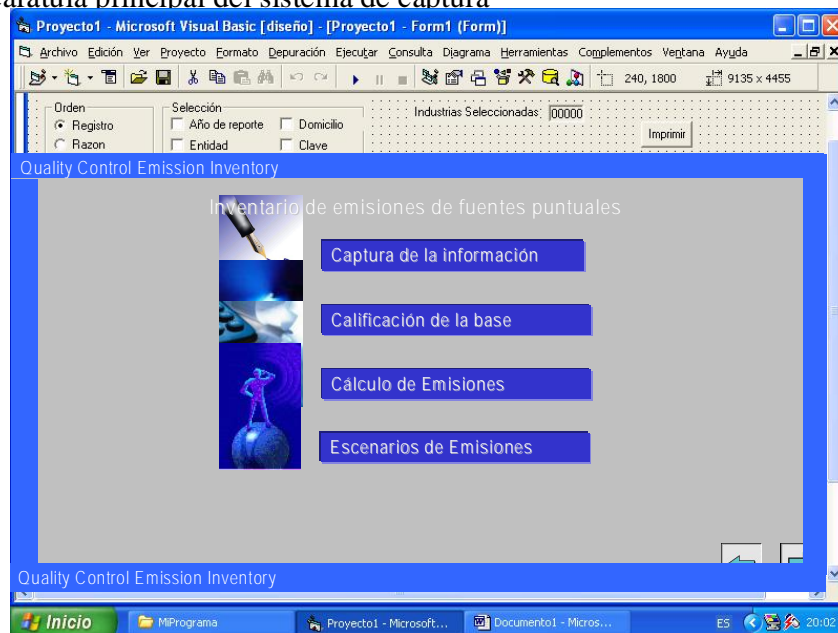
bases de datos, diseño de los catálogos para cada sección y la visualización de cada una de las pantallas que contara el programa este se diseño por secciones.

- Datos importantes para el inventario
- Criterios para la validación del dato
- Diseño de las base de datos
- Diseño de catálogos comunes
- Programación modular en visual Basic

a) Contenido del programa

A continuación se describen solo algunos elementos de cada pantalla o sección de programa de captura, ya que es necesario realizar un manual con mayor detalle en el cual queden descritos todas las consideraciones para manejar adecuadamente el programa. Las pantallas del programa quedan de la siguiente forma como se ve en la fig.2.4.

Figura 2.4 Carátula principal del sistema de captura



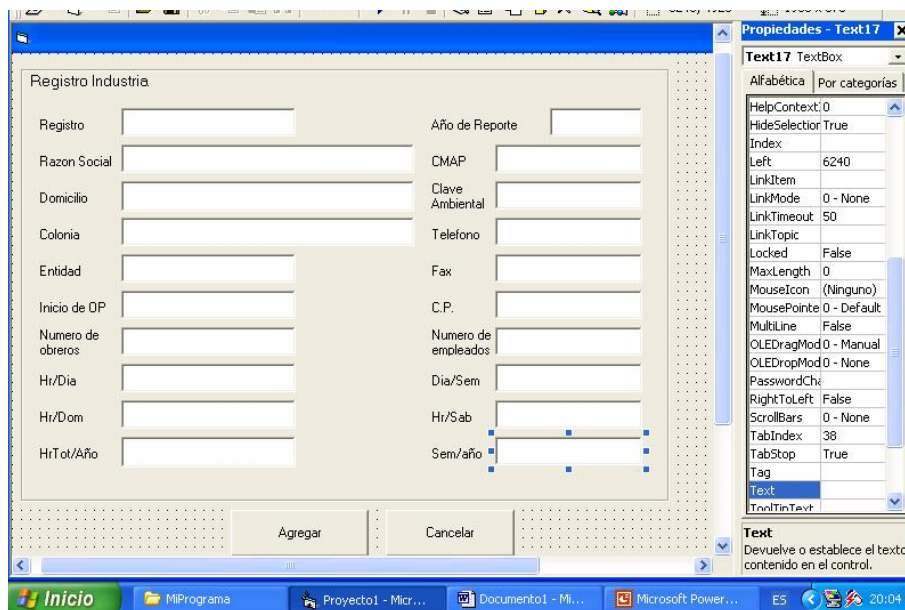
b) Sección de datos generales

En la primer sección del programa fig. 2.5 corresponde a la captura de la información de datos generales, en esta sección se integro en el programa los criterio asignados en el capítulo 2 para calificar de manera automática la base de datos, se incluyeron otras tres secciones que no se desarrollaran en este trabajo de tesis pero queda abierto para trabajos futuros.



Para facilitar la captura de la información se tomaron y se adecuaron algunos catálogos ya revisado y actualizados por algunas direcciones de ecología del gobierno principalmente el catalogo CMAP, Municipios conurbados, los municipios se pueden ampliar al resto de las entidades federativas , y otros estado, de esta sección también es importante tener especial cuidado en las coordenadas geográfica de la empresas ya que estas será las que se utilicen para la ubicación de la empresa en un mapa digital.

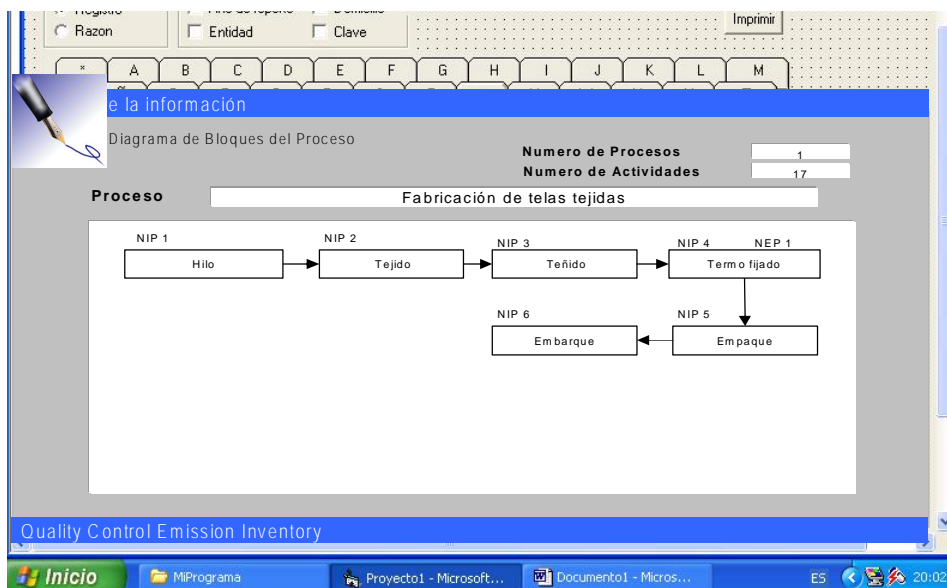
Figura 2.5 Sección Datos generales



c) Sección de diagrama de procesos principal

La segunda sección, fig. 2.6 se captura el número de procesos y el número acento de actividad de cada proceso, después se captura el nombre del proceso principal, éste se describe posteriormente en un diagrama de secciones. La codificación se realizará de la siguiente manera, se enumera de forma consecutiva con respecto al proceso principal y se identifica como el Número Identificador del Proceso (NIP) ( Texas air control board, 1993). En este mismo diagrama se enumera en forma consecutiva el Número del Punto emisor (NPE) (chimenea o ducto) si existe.

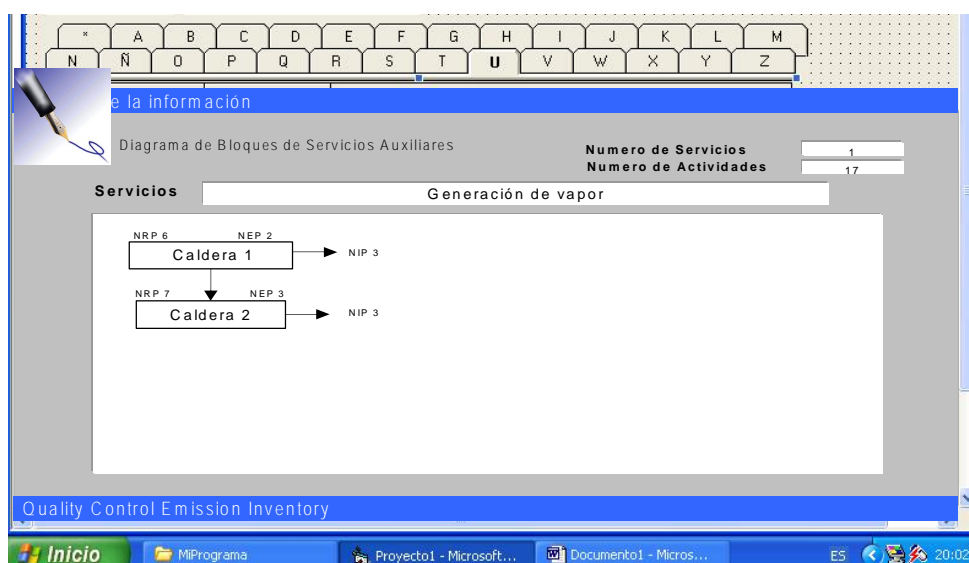
Figura 2.6 Sección Diagrama de proceso principal



d) Sección de diagrama de servicios

En la tercera sección fig. 2.7 se describe el diagrama de los servicios auxiliares al proceso en el que queda incluido los generadores de vapor, calderas y calentadores la codifican se realiza de la siguientes forma se asigna el Numero de Relación al Proceso (NRP) y para el proceso principal se identifica como el Numero identificador del Proceso (NIP)(Texas Air Control Board, 1993) , en este mismo diagrama se indica el Numero del Punto emisor(NPE) (Chimenea o ducto) si existe.

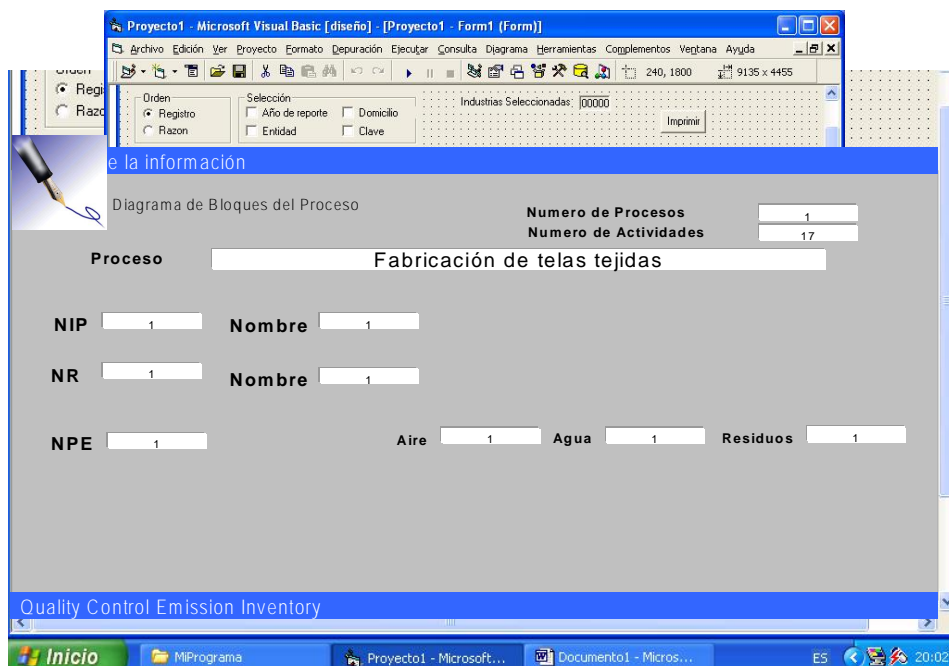
Figura 2.7 Sección de Diagrama de servicio auxiliares



e) Sección de Materias primas y productos

La cuarta sección fig. 2.8 se captura las materias primas y los productos indicando el número de materias que maneja la industria o establecimiento, si existe la relación de donde se consume la materia prima se toma del diagrama el numero de consumo que son los NIP'S se captura también su respectiva cantidad anual y las unidades se seleccionan de un catalogo lo mismo que la forma de almacenamiento, para productos solo es necesario captura el numero de productos y el nombre del producto que primas que se capturan

Figura 2.8 Sección Materias primas y productos



f) Sección de equipos de combustión

Para la quinta sección fig. 2.9 se captura lo referente a equipos de combustión y sus respectivas chimeneas o ductos. Esta sección es la más importante para el cálculo de la emisiones, ya sea que el cálculo se realice por factores de emisión o por los estudios de monitoreo de las fuentes; es importante cuidar la capacidad del equipo de combustión, el consumo de combustible y las unidades de reporte de a cada uno de ellos

Figura 2.9 Sección Equipos de combustión y chimeneas

Combustible Utilizados en equipos de Combustión

Equipos de Combustión		Chimenea o Ductos de Emisión	
NIP	<input type="text"/>	NPE	<input type="text"/>
Nombre del Equipo	<input type="text"/>	Punto de relación	<input type="text"/>
Capacidad	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>	Altura	<input type="text"/>
Nombre del Combustible	<input type="text"/>	Diámetro interior	<input type="text"/>
Cantidad	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>	V del flujo	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>
Tiempo de Operación		Temperatura de salida	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>
Días	<input type="text"/> Horas por día <input type="text"/>	Tiempo de Operación	
		Días	<input type="text"/> Horas por día <input type="text"/>

Quality Control Emission Inventory

g) Sección de Maquinaria y equipo de proceso

Para la sexta sección fig. 2.10 se captura los datos de maquinaria y equipo, se captura principalmente la capacidad del equipo o maquinaria si en esta sección se encuentra equipos de proceso en el que exista combustión y tiene asignado una chimenea o ducto entonces se captura en la sección de combustión.

Figura 2.10 Sección maquinaria y equipo de proceso

Equipos sin combustión Maquinaria y Equipo de Proceso

Maquinaria		Proceso sin combustión	
NIP	<input type="text"/>	NIP	<input type="text"/>
Nombre	<input type="text"/>	Nombre	<input type="text"/>
Capacidad	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>	Capacidad	<input type="text"/> Unidad <input type="text"/>
Dias por semana	<input type="text"/>	Dias por semana	<input type="text"/>
Horas por día	<input type="text"/>	Horas por día	<input type="text"/>

Quality Control Emission Inventory

## h) Sección de Emisiones

Para la séptima sección fig. 2.11 se tiene el reporte de emisiones esta sección puede ser llenada si empresa o estableciendo industrial cuenta con equipos de combustión o de proceso que genera la emisión contaminante para México esto se ve limitado por las normas en esta materia, por lo que la mayoría se calcula por factores de emisión.

Figura 2.11 Sección de Emisiones

Orden:  Registro  Razon

Selección:  Año de reporte  Domicilio  Entidad  Clave

Industrias Seleccionadas: 00000 Imprimir

Emisiones de Contaminantes criterio NIP: [ ] NPE: [ ]

Emisiones de NOx Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Emisiones de CO Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Emisiones de HC Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Emisiones de SO<sub>2</sub> Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Emisiones de COV'S Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Emisiones de PM<sub>10</sub> Cantidad reportada [ ] unidad [ ]

Quality Control Emission Inventory

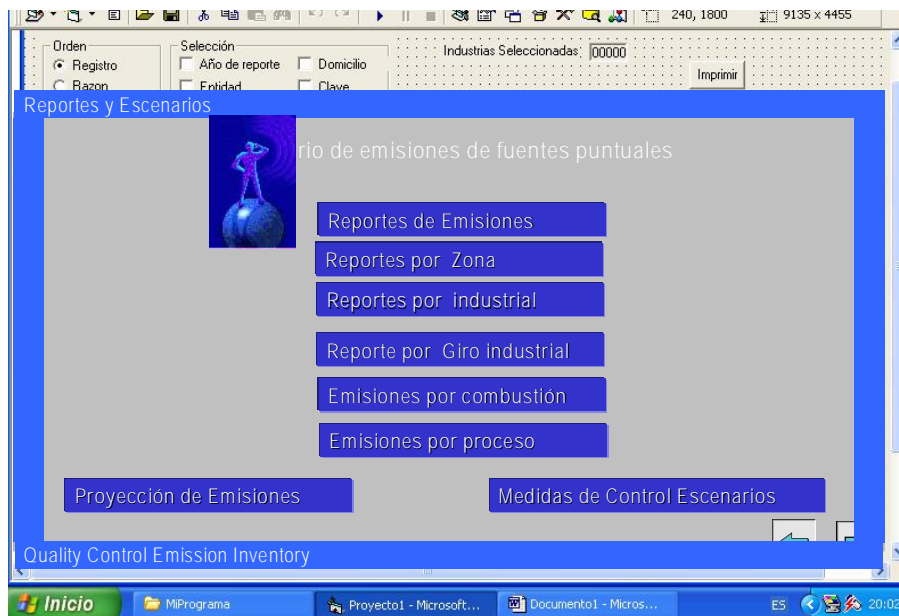
## i) Reportes y Escenarios

Esta sección fig. 2.12 es básicamente los reportes que se pueden realizar con los datos del inventario de emisiones. Generalmente se hace por zona industrial o parque industrial, y se agrupan para este mismo por giro industrial usando la clasificación CMAP (INEGI ,1996).

Ya que el inventario captura por separado equipos de combustión y de proceso, es posible presentar los resultados de las emisiones por combustión y por proceso.

También se incluyen en esta sección, fig. 2.12 los escenarios que pueden realizarse a partir del inventario de emisiones, los escenarios más comunes son la proyección de emisiones a corto mediano y largo plazo, que sirven para la planeación y evaluación de las políticas para la prevención y control de la contaminación.

Figura 2.12 Sección de Principales reportes y escenarios



## Capítulo 3 Metodologías para el cálculo de emisiones

Existen diferentes maneras de Medir, calcular o estimar las emisiones de una Industria en específico, la selección de método estará en fusión del tiempo y la capacidad económica de la industria para llevar a cabo el cálculo de emisiones, la forma de calcular las emisiones la clasificaremos en tres formas Monitoreo de emisiones, Cálculo de emisiones, Estimación de emisiones.

### 4.1. Monitoreo de emisiones en fuentes industriales

Este cálculo se realiza con métodos normalizados o aceptados. Es necesario transformar los resultados de concentración en datos de emisiones anuales.

Un dato es medido cuando:

- Se deduce a partir de los resultados de los controles directos de los procesos específicos, con base en medidas reales de concentración de contaminantes para una emisión determinada.
- Es el resultado de métodos de medidas normalizadas o aceptadas
- Se calcula con base en los resultados de un periodo corto de tiempo y monitoreos puntuales.

La fórmula general de aplicación a la hora de calcular las emisiones anuales kg/año a partir de medidas es la que se indica en la ecuación 3.1. Si la concentración es dada en mg/Nm<sup>3</sup>

$$E = C \times Q \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

- E = Emisiones en kg/año  
 C = Concentración en mg/Nm<sup>3</sup>  
 Q = Caudal en Nm<sup>3</sup>/h x horas de operación /10<sup>6</sup>

Si la concentración es dada en ppm (partes por millón en volumen) se utilizarán las siguientes relaciones para obtener los valores de concentración en masa en condiciones normales

Tabla 3.1 Factores para convertir la concentración volumétrica a concentración en masa

De ppm <sup>A</sup>	a	Multiplicar por
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2.05
SO <sub>x</sub>		2.86
CO		1.25
N <sub>2</sub> O		1.96
CH <sub>4</sub>		0.71

Environmental Protection Agency Air Chief Compilation OF Air pollutant Emission Factors AP-42 December 2001  
 Nota A condiciones normales (0 C, 1 atm)

La medición continua supervisada de la emisión puede determinar la contribución real de una fuente, los resultados son aplicable sólo a las condiciones existe al tiempo de la comprobación supervisada. La mejor opción sería la medición a largo plazo (día o año típico) las condiciones de operación debe reflejar la operación rutinaria de la fuente.

## 4.2. Cálculo de emisiones en fuentes industriales

Para estos cálculos se utilizan método de estimación aceptados nacionalmente o internacionalmente y factores de emisión representativos del proceso industrial. Las emisiones son calculadas mediante:

- Cálculos utilizando datos de actividad (Consumo de combustible , tasa de producción, Kcal.), ver tabla 3.2
- Métodos de cálculo más complicados utilizando variables como la temperatura, radiación solar y otras variables
- Cálculos basados en balance de masa
- Métodos de cálculo de emisiones descrito en publicaciones aceptadas

Tabla 3.2 Características de los factores de emisión

Operación	FE (Factor de emisión)
Cualquier proceso	kg de contaminante/ ton. producto
	kg de contaminante/ ton. de materia prima introducida
Combustión industrial	kg de contaminante/kWh GN
	kg de contaminante/Nm <sup>3</sup> GN
	kg de contaminante/(m <sup>3</sup> , ton , l , Kcal de GN, glp, diesel , combustóleo , gasóleo)

### 4.2.1. Factores de emisión

Los factores de emisión se han usado durante mucho tiempo son herramientas fundamentales para la elaboración de inventarios con bajo costo.

Datos de emisión obtenidos de pruebas de fuente-específica ó emisión continua son normalmente utilizados para estimar las emisiones de una fuente, ya que estos datos proporcionan una mejor representación de las emisiones en una fuente. Sin embargo, los datos de prueba de fuentes específicas no siempre son disponibles. Los factores de la emisión son frecuentemente la mejor o el único método disponible para estimar emisiones a pesar de sus limitaciones.

El grupo de inventario para factores de emisión (EFIG), en el U. S. y la agencia de protección al ambiente (EPA). Desarrollan y mantiene actualizados los factores de emisión y las herramientas



técnica que apoya la realización de estas actividades, el AP-42 contiene las metodologías para el cálculo de emisiones y los factores adecuados para cada proceso. ¿Qué es factor de emisión ?. Un factor de emisión representa la tasa que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera por la unidad de actividad. Estos factores normalmente como se expresa en peso de contaminante dividido por un peso de la unidad de actividad, volumen, distancia, o duración de la actividad. (Kilogramos de partículas emitidas por tonelada de carbón quemado). Tales factores facilitan estimación de emisiones de varias fuentes de contaminación. En muchos casos, estos factores son promedios simplemente de todo datos disponibles de las fuentes de emisión tiene una calidad aceptable.

La ecuación general por estimación de la emisión es:

$$E = A \times EF \times (1-ER/ 100) \qquad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

- E = Emisiones
- A = Dato de Actividad
- EF = Factor de la emisión
- ER = Eficiencia de la reducción de la emisión global, %.

La eficiencia de la reducción (ER) se define como la destrucción de la emisión en el equipo de control y la eficiencia de la captura o destrucción del sistema. Los valores del factor de la emisión descritos en el AP-42 proporcionan un indicador con un rango de confiable aceptable para cierto procesos.

Normalmente, los datos son insuficientes para indicar la influencia de varios parámetros dentro del proceso tal como temperatura y concentraciones el factor de emisión se usa para diferentes procesos cuando no se tiene una medición directa. El producto de estos inventarios con factores de emisión tiene muchos propósitos incluso la modelación de la dispersión de los contaminantes, desarrollo de estrategias de control y una gran fuente de investigaciones. El factor de emisión tiene algunas limitaciones esté no refleja la tecnología más limpia, no es apropiado para hacer regulaciones, no refleja la temporalidad de las emisiones.

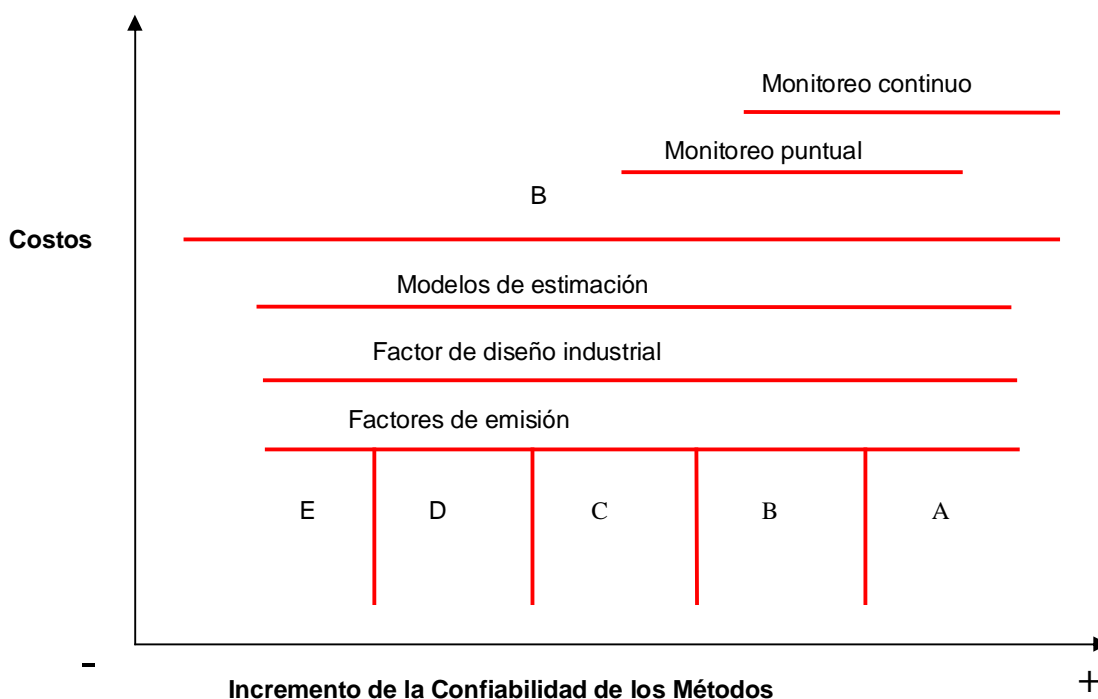
Los factores de emisión son promedios de un rango de tasa de emisión, aproximadamente la mitad de las fuentes sujetas a regulación tiene una tasa de emisión por arriba del factor y la otra mitad por de bajo del factor lo que tendríamos el 50 % de incumplimiento ambiental.

Cuando se usen factores de emisión, uno debe estar informado de sus limitaciones, considerar la precisión del factor y los riesgos de usar factores de la emisión, en tales situaciones se debe evaluar contra los costos de monitoreo. Figura 3.1 se puede apreciar la confiabilidad del método y el costo de cada método de estimación o medición de emisiones. La calidad de las estimaciones resultantes dependerá del nivel de inventario que se quiera realizar.

Los métodos costosos son poco atractivos, mientras que los métodos donde se estiman las emisiones reducen el costo y tiene confiabilidad aceptable. En algunos casos donde los factores de la emisión son disponibles pero tiene poca confiabilidad estos podrían usarse pero considerando algunos criterios de ingeniería, para la elaboración del inventario es necesario evaluar los riesgos de usar los factores de emisión y evaluar los costos asociado a estas actividades para el caso de los inventarios en México es necesario evaluar aun otra variable.

Si bien los factores son promedios de fuentes similares de emisión y en algunas ocasiones no representan la tecnología, hay que agregar ubicación geográfica y el nivel de tecnología en México usando juicio de ingeniería. Para la elaboración de los inventario es importante consideras cinco puntos importantes, los riesgos de usar la metodologías, objetivos del inventario, el costo de realizar un inventario, el tiempo para realizarlo y la calidad del inventario.

Figura 3.1 Costos y efectividad del método<sup>12</sup>



La Agencia de Protección Ambiental de EUA clasifica dichas pruebas en cuatro grupos:

A (Excelente)

Cuando el factor de emisión se desarrolla únicamente con pruebas en el mismo punto de emisión con una metodología autorizada, de tal manera que se pueda validar estadísticamente el factor obtenido, y a partir de un número significativo de establecimientos industriales, escogidos de

<sup>12</sup> EPA-AP42 Air chirf ver 10

manera aleatoria. Además la fuente de emisión esta lo suficientemente especificada de manera que la variabilidad de valores entre la misma población de fuentes es la mínima.

#### B (Arriba del promedio)

Cuando el factor de emisión es desarrollado únicamente con pruebas en el mismo punto de emisión con una metodología autorizada, de tal manera que se pueda validar estadísticamente el factor obtenido, y a partir de un número razonable de establecimientos, aun si no esta suficientemente claro que la muestra sea aleatoria. Como en el caso de los factores excelentes, la fuente de emisión esta bien especificada de manera que la variabilidad de valores entre la misma población de fuentes es mínima.

#### C (Promedio)

Cuando el factor esta desarrollado con pruebas en el mismo punto, metodología autorizada, que no se cuente con datos suficientes para validarla adecuadamente, y a partir de un número razonable de establecimientos, aunque no se pueda afirmar que se trata de una muestra aleatoria. Como en los casos anteriores la fuente de emisión esta bien específica.

#### D (Debajo del promedio)

Cuando el factor esta desarrollado con pruebas en el mismo punto, metodología autorizada, que no se cuente con datos suficientes para validarla adecuadamente, y a partir de un número pequeño de establecimientos que no puede tomarse como una muestra aleatoria de la industria. Además, puede haber evidencias de que existe cierta variabilidad de los valores dentro de la misma población de datos.

#### E (Pobre)

Cuando las pruebas se realizan con una metodología nueva o no autorizada según la normatividad vigente, o bien por falta de información, también las pruebas pueden hacerse con una metodología no aceptada que nos sirva para establecer el orden de magnitud y a partir de un numero pequeño de establecimientos que no puede considerarse como una muestra aleatoria de la industria. Además, puede haber evidencia de que existe cierta variabilidad de los valores dentro de la misma población de datos.

### 4.3. Factores para combustión usados en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Tabla 3.3 Factores de emisión para generación de energía eléctrica (> 3,000 C.C)

COMBUSTIBLE	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S	COTNM	METANO
	kg/m <sup>3</sup>							
<b>COMBUSTOLEO PESADO (N° 6 oil fired)</b>	1.1028S+0.3864	18.84S	0.684S	0.6	8.04	0.1248	0.0912	0.0336
	1.1028S+0.3864	18.84S	0.684S	0.6	5.04	0.1248	0.0912	0.0336
<b>COMBUSTOLEO LIGERO (N° 5 oil fired)</b>	1.2	18.84S	0.684S	0.6	8.04	0.1248	0.0912	0.0336
	1.2	18.84S	0.684S	0.6	5.04	0.1248	0.0912	0.0336
<b>GASOLEO (N°4 oil fired)</b>	0.84	18 S	0.684S	0.6	8.04	0.1248	0.0912	0.0336
	0.84	18 S	0.684S	0.6	5.04	0.1248	0.0912	0.0336

Factores tomados del AP42-Ver 5

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

Tabla 3.4 Factores de emisión para generación de energía eléctrica (> 3,000 C.C)

COMBUSTIBLE	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S <sup>c</sup>	COTNM	CO <sub>2</sub>
	kg/m <sup>3</sup>							
<b>GAS NATURAL (1-01-006-01, 1-01-006-04)</b>	16-80	9.6	ND	640	8800	27.2	ND	1.92E+06
	ND	9.6	ND	ND	1264	ND	ND	ND
	ND	9.6	ND	ND	848	ND	ND	ND

Factores tomados del AP42-Ver 5

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

Tabla 3.5 Factores de emisión para calderas industriales (300-3,000 C.C)

COMBUSTIBLE	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S	COTNM	METANO
	kg/m <sup>3</sup>							
<b>COMBUSTOLEO PESADO (N° 6 oil fired)</b>	4.7976	75.36	0.96	0.6	6.6	0.1536	0.0336	0.12
<b>COMBUSTOLEO LIGERO (N° 5 oil fired)</b>	1.2	18.84S	0.24S	0.6	6.6	0.1536	0.0336	0.12
<b>DIESEL (Distillate oil fired)</b>	0.24	17.045 S	0.24S	0.6	2.4	0.03024	0.024	0.00624
<b>GASOLEO (N° 4 Oil fired)</b>	0.84	18 S	0.24S	0.6	2.4	0.03024	0.024	0.00624

Factores tomados del AP42-Ver 5

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

Tabla 3.6 Factores de emisión para calderas industriales (300-3,000 C.C)

COMBUSTIBLE	TIPO DE CONTROL	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S <sup>c</sup>	COTNM
		kg/m <sup>3</sup>						
GAS NATURAL	SIN CONTROL	99.2	9.6	0	560	2240	92.8	0
	QUEMADOR DE BAJO NO <sub>x</sub>	ND	9.6	ND	976	1328	ND	0
	RECIRCULACION DE GASES	ND	9.6	ND	544	480	ND	0
GAS L.P.	BUTANO	0.072	0.0108S	ND	0.432	2.52	0.072	0
	PROPANO	0.072	0.012S	ND	0.384	2.28	0.06	0

Factores tomados del AP42-Ver 5

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

Tabla 3.7 Factores de emisión para combustión institucional/residencial/comercial (10-300 C.C)

COMBUSTIBLE	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S	COTNM
	kg/m <sup>3</sup>						
COMBUSTOLEO PESADO (N°6 oil fired)	1.1028S +0.3864	18.84 S	0.24S	0.6	6.6	0.1926	0.1356
COMBUSTOLEO LIGERO (N° 5 oil fired)	1.2	18.84 S	0.24S	0.6	6.6	0.1926	0.1356
DIESEL (Distillate oil fired)	0.24	8.52	0.12	0.6	2.4	0.06672	0.0408
GASOLEO (N° 4 oil fired)	0.84	36	0.48	0.6	2.4	0.06672	0.0408
HORNOS RESIDENCIALES <sup>b</sup>	0.048	17.04 S	0.24S	0.6	2.16	0.29916	0.08556

Factores tomados del AP42-Ver 5

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

Tabla 3.8 Factores de emisión para combustión institucional/residencial/comercial (10-300 C.C)

GAS NATURAL	TIPO DE QUEMADOR	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	SO <sub>3</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S	
		Kg/Millones de m <sup>3</sup>						
CALDERAS COMERCIALES	SIN CONTROL	72	9.6	ND	336	1600	92.8	
	QUEMADOR DE BAJO NO <sub>x</sub>	ND	9.6	ND	240	272	ND	
	RECIRCULACION DE GASES	ND	9.6	ND	ND	576	ND	
HORNOS RESIDENCIALES (A21104004/A2104011)	SIN CONTROL	2.72	9.6	ND	640	1504	176	
GAS L.P.		Kg/m <sup>3</sup>						
CALDERAS COMERCIALES	BUTANO	0.06	0.00108	ND	0.252	1.8	0.072	
	PROPANO	0.048	0.0012	ND	0.228	1.68	0.06	

Factores tomados del AP42-Ver 5,

Nota el contenido de azufre S se toma de la NOM-086-SEMARNAT

#### 4.3.1. Balance de materiales

El balance de materiales también representa un acercamiento al equilibrio de la relación, en la cual esta la cantidad de energía utilizada para procesar una unidad de material. También proporciona emisiones confiables para fuentes específicas. En general, el balance de material es apropiado para usarse en situaciones donde se pierde porcentaje alto de material y éste se va a la atmósfera (azufre en combustible, o pérdida solvente). En contraste, el balance de materiales sería impropio cuando existen reacciones con los materiales y se combina químicamente en el proceso, o donde las pérdidas a la atmósfera son porción pequeña del total del material procesado.

Por consiguiente, para realizar un balance de materiales se tiene que disponer de la información relacionada con las corrientes de materiales de entrada y de calidad, una buena referencia de los materiales de entrada los podemos encontrar en las hojas de seguridad. Las entradas del proceso u operaciones unitarias incluyen materias primas (MP), materiales de consumo indirecto (CI), agua (W) , o aire (A) ; y las salidas incluyen productos (P) , emisiones al aire (Ea), emisiones al agua (Ew), y emisiones al suelo (Es); por lo que el balance queda así como se muestra en la ecuación 3.3

$$MP + CI = P + E_a + E_w + E_s$$

**Ec 3.3**

Para resolver la ecuación 3.3 solo se puede desconocer el valor de una incógnita a la vez; por lo tanto, cuando se tiene más de una variable desconocida debe disponerse de más información del proceso. La Ecuación 3.3 solo se aplica cuando no hay reacciones.

#### 4.3.2. Modelos mecanísticos o de estimación de emisiones

Los modelos son una representación del las actividades o procesos dentro de un sistemas, su construcción lleva tiempo, pero su utilidad es mucho mayor , el modelo puede tener las variables necesarias y las consideraciones adecuadas es posible realizar muchos cálculos antes de dar un resultado , los costos en las fase de construcción son altos pero los beneficios a largo plazo son mayores lo que se traducen en una herramienta poderosa para la estimación de emisiones de bajo costo , es importante tener en cuenta los riesgos de esta herramienta y considerar hacer un estudio de sensibilidad del modelo para ajustarlos a nuestras necesidades.

Los modelos mecanísticos se basan en ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos de Química, Física y Biología para describir la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular. Entre los emisores importantes de COV's que requieren muchas variables para calcular las emisiones se encuentran las operaciones de almacenamiento y manejo de derivados del petróleo (tanques de almacenamiento superficiales y subterráneos; carga de carros-tanque, pipas y buques tanque; y carga de gasolina en las estaciones de servicio).

#### 4.3.3. Cálculos de ingeniería

Se basan en la aplicación de principios y criterios de ingeniería correlacionados matemáticamente, como condiciones de equilibrio fisicoquímico y termodinámico de fases, propiedades físicas y químicas de las sustancias, variables y constantes de reacciones químicas y

correlaciones y especificaciones de diseño (nomogramas). La aplicación de este método requiere de conocimiento técnico del proceso, así como del claro entendimiento de las reacciones que suceden en este y que dan origen a la formación de los contaminantes.

Para la estimación de las emisiones existen tres tipos básicos de cálculos de ingeniería: el primero de ellos son las correlaciones de diseño desarrolladas, entre otras, para pérdidas en tanques, perdidas por el manejo de materiales y descarga de procesos de tratamientos de agua. El segundo tipo consiste en el uso de especificaciones de diseño, tal como velocidad y eficiencia de remoción, velocidad de secado entre otras variables. Estos tipos de cálculos son frecuentemente usados para estimar emisiones al aire de fuentes puntuales provenientes de equipos anticontaminantes; las especificaciones de equipo pueden ser valorados derivados de mediciones directas durante la operación o proporcionados por el fabricante, también pueden ser valorados promedios publicados para diferentes tipos de equipo y procesos en uso.

El tercer tipo de cálculos se basa en el uso de las propiedades físicas, químicas y condiciones de equilibrio de fases. Estos datos son frecuentemente usados para estimar la concentración de una sustancia presente en la emisión. Por ejemplo la presión de vapor de una sustancia puede ser combinada con la ley de los gases ideales para estimar la concentración en el aire; su solubilidad se puede usar para estimar sus emisiones en aguas residuales o residuos líquidos, o bien, la estequiometría de una reacción puede emplearse para evaluar su concentración final esperada al aplicar el principio de equilibrio de reacción y de reactivo limitante.

Para el uso de este método se debe considerar que:

- Su aplicación requiere del conocimiento técnico del proceso, así como el entendimiento de las reacciones que suceden dentro del mismo
- Los nomogramas y formulación empírica deben ser evaluados por personal técnico capacitado

#### **4.4. Estimación de emisiones industriales**

La estimación de emisiones sería la última alternativa para la obtención de resultados de emisiones. Estos cálculos son realizados en base a métodos no normalizados, deducidos de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas. Un dato es estimado cuando:

- Opiniones autorizadas, no basadas en referencias disponibles o publicadas
- Suposiciones, en caso de ausencia de metodología reconocidas de estimación de emisiones

Cada uno de los métodos antes mencionados posee ventajas y desventajas, tanto técnicas como económicas, que se deben considerar para su aplicación. Como apoyo a esta selección, la tabla 3.9 se presenta una comparación entre los métodos de estimación antes descritos, incluyendo a los modelos matemáticos.

Tabla 3.9 Métodos para calcular las emisiones

Método	Contaminante	Emisión	Escala espacial	Tiempo requerido	Factor económico
Medición directa	Se tiende a cubrir contaminantes específicos	Limitada al punto de emisión	Se aplica a una etapa del proceso o a un punto de emisión particular	Es necesario para mediciones y análisis	Alto costo en función del número de mediciones
Factor de emisión	Depende de los datos existentes	Cualquier tipo de emisión	Se aplica a todas las escalas	Depende de la existencia del factor y la accesibilidad de la información	Bajo Costo
Balace de materiales	Requiere conocimiento del proceso y reacciones	Se usa para emisiones difusas y puntuales	No tiene alta resolución espacial	Depende de la experiencia y complejidad del proceso	El costo se mide en función del tiempo de análisis
Caculos de ingeniería	Siempre aplica	Siempre aplica	Siempre aplica	Depende de la experiencia y datos disponibles	El costo se mide en función del tiempo de análisis
Modelos matemáticos	Requiere conocimientos del proceso y reacciones	Emisiones puntuales	Para puntos específicos	Depende de la experiencia y de los datos disponibles	Los programas por lo general son costosos y es necesario que los realice una persona con experiencia en ellos.

Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental – SEMARNAT, 2001

La selección del método dependerá del nivel del inventario que se planeo principalmente el factor económicos es el principal factor para la selección del método.

#### 4.5. Balance de energía para los consumos de combustibles en el inventario

El balance de energía se calcula con los consumos totales de los diferentes combustibles, esto se convierte en unidades de energía con los datos de poder calorífico de la tabla 3.10

Tabla 3.10 Poder calorífico y densidad para diferente combustibles

Combustibles	poder calorífico <sup>1</sup>	poder calorífico <sup>2</sup>	densidad <sup>3</sup>
	Kcal/m <sup>3</sup>	Kcal/Kg	kg/m <sup>3</sup>
Diesel	9,161,101	11,472	845
Combustóleo	10,155,811	10,038	944
Gas natural	10,098	12,428	673
Gas l.p	6,610,950	11,472	543
Gasolinas	7,619,000	11,233	739
Gasóleo	9,640,000	10,795	893
Leña			
Carbón (coke) <sup>3</sup>		6,668	
Bagazo de caña <sup>3</sup>		1,685	

1 Balance Nacional de Energía 1995, pag 45

2 NOM-085-SEMARNAT

3 AP-42 Appendix A Densities of Selects Substances



## Indicadores de energía

Indicadores se desarrollaron a partir del consumo de energía utilizado por las empresas que se reportaron en el inventario de emisiones del año 2000 para el Estado de México (DDA, 2002) estos nos sirven para hacer un balance rápido de emisiones y poder calcular las diferencias dentro del inventario, la tabla 3.11 solo sirve de referencia para calcular un inventario de emisiones con el consumo total del combustible.

Tabla 3.11 Indicadores de emisiones en ton/kcal

Indicadores ton/kcal				
Combustible	PM-10	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S <sup>c</sup>
Combustóleo pesado	4.8E-10	6.0E-11	6.6E-10	1.5E-11
Diesel	2.6E-11	6.5E-11	2.6E-10	7.2E-12
Gas lp	7.8E-12	3.5E-11	2.5E-10	9.5E-12
Gas natural	1.1E-11	6.3E-11	2.5E-10	1.0E-11
Gasóleo	8.7E-11	6.2E-11	2.5E-10	6.9E-12

Inventario de Emisiones 2000 Estado de México, sin publicación

## 4.6. Cálculo de las emisiones por hora para el inventario

### Perfil horario de emisiones en la industria

Para la preparación del inventario como base de datos para modelación, es necesario calcular las emisiones por equipo de combustión y de proceso, para lo cual se aplica la ecuación 3.4, utilizando las horas de operación del equipo e identificando los puntos de emisión. Si se tiene la capacidad para monitorear continuamente las emisiones, se puede tener un perfil de emisiones horario y el resultado se puede aplicar a todo el inventario, si no se tiene equipo de monitoreo continuo se puede usar los horarios de operación de los equipos.

$$E_h = ET / N_{eq} * hop$$

Ec 3.4

Donde:

E<sub>h</sub> = Emisiones por hora

ET = Suma de todas las emisiones por turno de trabajo

N<sub>eq</sub> = Número de equipos de combustión

hop = Horas de operación de equipo por día de la semana

## 4.7. Proyección de escenarios de emisiones a futuro

Para la planeación de estrategias de control a largo plazo es necesario conocer la problemática medio ambiental que tendremos en el futuro, una manera de saber como se comportan las emisiones en el futuro es mediante una proyección de emisiones, para esto es necesario contar con un inventario de fuentes puntuales.

a) Descripción de la metodología.

Para el diseño de proyección de emisiones deben de ser todas la variables que pueden afectar en el futuro las generación de emisiones están pueden ser regulación, variación en la economía, planes y programas ambientales, normatividad, control de emisiones.

La proyección de emisiones esta en función de los cambios de el nivel de actividad, combinado con el control de emisiones. Los cambios pueden ser influenciados por avances tecnológicos, regulaciones más estrictas, políticas medioambientales sustentables, reformulación de combustibles.

En general para fuentes puntuales la proyección puede ser basada en la siguiente ecuación.

$$\text{Proyección de emisiones ton/año} = E_{\text{base}} + \left[ \sum_{i=\text{año base}}^{i=\text{proyección}} G_i * E_{\text{base}} \right] * C_i \quad \text{Ec 3.5}$$

En donde:

$E_{\text{base}}$  = Año base de emisión

$G_i$  = Factor de crecimiento indicador de crecimiento industrial

$C_i$  = Factor de control o medidas de control

Se calcula primero el inventario base de emisiones con todos lo elementos definidos para este propósito, después se analiza el indicador de crecimiento que será utilizado como factor de crecimiento, con estos dos datos se deja fijo el año base y se calcula los incrementos por año, finalmente si se tiene un valor estimado para el factor de control se aplica a esta relación para obtener la proyección final.

b) Consideraciones para la proyección.

Para fuentes puntuales es necesario conocer el crecimiento por sector industrial , ya que las estadísticas industriales se realizan cada 6 años no se tiene suficiente datos en el momento de hacer la proyección, el crecimiento económico en la zona de estudio seria un buen indicador de

crecimiento en la industria , el Producto Interno Bruto puede ser utilizado para las proyecciones y se mantiene constante el año base de emisiones, si el dato del PIB no se tiene, una dato conservador es el crecimiento poblacional de la zona de estudio.

## Capítulo 4 Análisis y resultados en un caso de estudio

### 5.1. Evaluación de la calidad de los datos y cálculo del inventario de emisiones en un caso de estudio en el Municipio de Naucalpan.

#### 5.1.1. Localización geográfica del municipio de Naucalpan

El municipio de Naucalpan de Juárez es uno de los 2, 427 municipios de la república Mexicana, y de los 122 del Estado de México; las coordenadas de la cabecera municipal es: Longitud Norte 19° 28' y Longitud Oeste 99° 14' y su altitud 2220 msnm. El municipio está ubicado en el Valle de México en la parte meridional y pertenece a la región II Zumpango, al noroeste del D.F., limita al norte con Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz y Jilotzingo; al sur con Huixquilucan; al este y sureste con el Distrito Federal; al oeste nuevamente con Jilotzingo, y al suroeste con los municipios de Oztolotepec, Xonacatlán y Lerma.

La fig. 4.1 muestra la ubicación geográfica del Municipio de Naucalpan de Juárez y sus colindancias

Figura 4.1 Mapa Localización del municipio



Fuente: Plano de información firmado por H. Cabildo con fecha octubre de 1992; sujeto a revisión por zonas en litigio con Municipios y Delegaciones políticas colindantes, Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología. (Ha: Hectárea =10,000 m<sup>2</sup>)

### **5.1.2. Actividad Económica en el municipio de Naucalpan**

Las actividades del municipio presentan una gran variedad de acciones, que van desde las labores del campo, pasando por el comercio semifijo, el cultivo de todo tipo, las actividades de subempleo y las de todo tipo de comercio, así como las de las industrias de la transformación.

### **5.1.3. Actividad Industrial en el municipio de Naucalpan**

El municipio de Naucalpan cuenta con 6 parques industriales en los cuales se ubican la mayor parte de la industria, ya que en algunas otras colonias populares se encuentra ubicada industria. El tipo de industria localizada es desde microempresas hasta grandes empresas y los giros industriales son diversos como la industria textil, la industria alimenticia, la industria de la madera entre otros. El número de industrias que entregan regularmente son 125 empresas y esta reportan en la dirección de ecóloga del municipio de Naucalpan. Estas 125 empresas no son todas las registradas existe alrededor de 1248 empresas registradas en la Dirección General de Desarrollo y fomento Económico (2000-2003).

### **5.2. Información de las cédulas de operación**

La forma de recolección de datos se realiza en el formato de cédula de operación anual que sirve de instrumento de regulación para la industria, este formato recolecta la información del año inmediato anterior y se entrega en los 3 primeros meses del año.

Se capturó la información de la COA se capturo en un programa desarrollado por la Secretaria de Ecología del Estado de México (DDA, 2003), esta captura se realizó en la Dirección de Ecología del Municipio de Naucalpan, un primer análisis de la base de datos se encontraron inconsistencias importantes en la base de datos, es decir la base de datos tiene mucha basura y de esta base de datos se partió para el análisis.

### **5.3. Control de calidad de la información**

El municipio de Naucalpan no tiene un plan local para el desarrollo de su inventario ya que este lo elabora la Secretaria de Ecología del Estado e México. No se reconoce que exista un procedimiento local para el control de calidad en el momento de la recepción de la información de la cédula de operación anual (DEN, 2003).

#### **5.3.1. Calificación de la base de datos**

La calificación de la base de datos se realizo como se explico en la sección 2.6.5 a continuación se presenta las calificaciones por sección se calcularon las frecuencias de estas calificaciones, los porcentajes de cada calificación y las desviaciones encontradas para cada sección.

### A) Desviación encontrada en la sección de datos generales

Cabe aclarar que las desviaciones a las que nos referimos son con respecto a la comparación de los datos y los criterios asignados para cada dato como se describió en el capítulo 2, sección 2.7.3 en la calificación por sección.

Se tiene entonces que para la sección de datos general 118 empresas cumplen con los criterios asignados, en tanto que al resto de las empresas con calificación menor de 90, a éstas se les reviso los datos con menor calificación encontrando que los datos deficientes son: Actividad principal, la calve CMAP y las coordenadas geográficas. La tabla 4.1 muestra estos resultados.

Tabla 4.1 Sección de datos generales

<b>Datos generales</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
53	2	1.6	1.6
78	4	3.2	4.8
88	1	0.8	5.6
93	4	3.2	8.8
98	114	91.2	100
<b>Total</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	

### B) Desviaciones encontradas en la sección de materias primas

En la sección de materias primas tabla 4.2, tenemos que de las 125 empresas 75 cumplen con los criterios asignados y existe un porcentaje alto de las que no cumplen o tiene 0 de calificación al revisar el dato con la calificación mas baja, se encontró que no reportan ninguna materia prima o solo tiene las cantidades sin describir el tipo o nombre de la materia.

Tabla 4.2 Sección de materias primas

<b>Materias primas</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	41	32.8	32.8
10	5	4	4
65	1	0.8	0.8
75	1	0.8	0.8
85	1	0.8	0.8
90	1	0.8	0.8
95	75	60	60
<b>Total</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### C) Desviaciones encontradas en la sección de productos

En la sección de productos tabla 4.3 se muestran las 125 empresas 80 cumplen con los criterios asignados y existe un porcentaje alto de las que no cumplen o tiene 0 de calificación al revisar el dato con la calificación mas baja, se encontró que no reportan ninguna producto solo tiene las cantidades sin describir el tipo o nombre del producto.

Tabla 4.3 Sección de productos

<b>Productos</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	30	24	24
10	13	10.4	34.4
80	2	1.6	36
95	80	64	100
Total	125	100	

### D) Desviaciones encontradas en la sección de equipos de combustión

En la sección de equipos de combustión tabla 4.4, solo 20 empresas cumple con los criterios asignados y existe un porcentaje alto de las que no cumplen con los criterios de calificación, al revisar el dato con la calificación mas baja, se encontró que no reportan ninguno la capacidad del equipo de combustión, el nombre del equipo de combustión, el tipo del consumo de combustible, el consumo anual del combustible, las unidades del consumo y las horas de operación.

Tabla 4.4 Sección de equipos de combustión

<b>Equipo de combustión</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	1	1	1
25	6	6	7
30	1	1	8
35	18	18	26
50	6	6	32
55	6	6	38
60	15	15	53
70	6	6	59
80	5	5	64
85	12	12	76
90	4	4	80
95	20	20	100
Total	100	100	

### E) Desviaciones encontradas en la sección de equipos de procesos

En la sección de equipos de proceso tabla 4.5, solo 26 empresas cumplen con los criterios asignados y existe un porcentaje alto de las que no cumplen con los criterios de calificación al revisar el dato con la calificación más baja, se encontró que no reportan ninguna la capacidad del equipo, el nombre del equipo, el tipo del consumo de combustible, el consumo anual del combustible, las unidades del consumo y las horas de operación.

Tabla 4.5 Sección de equipos de proceso

<b>Equipos de proceso</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	6	6	6
25	19	19	25
30	12	12	37
50	2	2	39
55	11	11	50
60	21	21	71
65	3	3	74
95	26	26	100
Total	100	100	

### F) Desviaciones encontradas en la sección de Chimeneas y ductos

En la sección de chimeneas y ductos tabla 4.6, de las 176 chimeneas 122 cumple con los criterios asignados y existe un porcentaje alto de las que no cumplen con los criterios de calificación al revisar el dato con la calificación mas baja, se encontró que no reportan adecuadamente el diámetro del la chimenea o ductos, la velocidad de los gases de salida y la temperatura de los gases.

Tabla 4.6 Sección de chimeneas y ductos

<b>chimeneas y ductos</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
20	6	3.4	3.4
30	2	1.1	4.5
40	5	2.8	7.4
60	5	2.8	10.2
70	36	20.5	30.7
80	122	69.3	100
Total	176	100	



### G) Desviaciones encontradas en la sección de emisiones

En la sección de emisiones tabla 4.7, ninguna empresa cumple con los criterios asignados y solo al revisar los datos se encontró que no reportan emisiones y las que si reportan algunas no reportan las unidades de medición.

Tabla 4.7 Sección de emisiones

<b>Emisiones</b>			
Calificación	Frecuencias	Porcentaje	Porcentaje acumulado
20	26	24	24
30	14	13	37
35	18	17	54
40	5	5	58
50	8	7	66
60	37	34	100
Total	108	100	

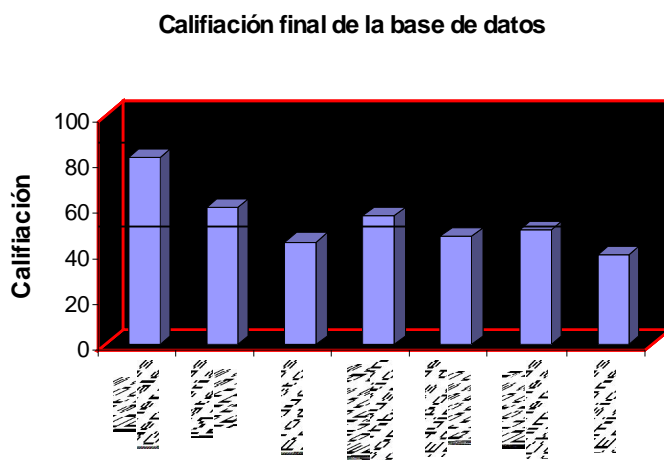
La calificación final de la base de datos se aprecia en la tabla 4.8, la calificación mayor es para datos generales y la segunda calificación es la de equipos de combustión, y el resto es menor a 56, lo que significa que la base de datos no cumple con los criterios de calificación y el valor promedio es de 55 para este análisis de la base de datos.

Tabla 4.8 Resume de la calificación final por secciones.

Datos Generales	Materias primas	Productos	Equipos de combustión	Equipos de proceso	Ductos y Chimeneas	Emisiones
82	60	45	56	48	50	39

En la grafica 4.1 se ve el valor del límite del control de calidad que es de 90 y el resultado de la calificación de la base de datos que es de 55 existe un margen de error de 25 % que se puede corregir con las desviaciones encontradas.

Grafica 4.1 Calificación final de la base de datos



**La Confiabilidad de la base de datos es de  $\hat{\alpha} = 55$**

El valor de  $\hat{\alpha}$  que se dio al inicio es de 90 por lo que la base no cuenta con un nivel para realizar el cálculo de emisiones con los datos existentes es necesario corregir las desviaciones encontradas para cada sección y en especial detalle las de equipos de combustión y de proceso ya que estas influyen directamente en el cálculo de emisiones.

**5.3.2. Corrección de las desviaciones encontradas**

Las desviaciones de los datos generales fueron la Actividad principal, la clave CMAP y las coordenadas geográficas, estas se corrigieron revisando la cédula original y con los productos se obtiene la clasificación CMAP, las coordenada geográficas solo se comprobaron que estuvieran dentro de las coordenadas geográficas para el estado de México si se requiere mayor precisión es necesario ubicarlas en un mapa digital o geoposicionarlas.

Las desviaciones de materias primas y productos se revisaron en otras bases construidas con datos históricos de anteriores registro de la misma empresa los cuales solo se usaron como referencia y estas no se corrigieron ya que no afecta al cálculo del inventario de emisiones.

En el caso de equipos de combustión que es el principal proceso que genera emisiones las desviaciones que se encontraron fueron en los consumos de combustibles, unidades del consumo de combustible, tipo de combustible, capacidad del equipo y las unidades del equipo de combustión, el principal combustible con estas desviaciones son el Gas Natural, las desviaciones se corrigieron, llamando al responsable técnico en la industria y en el caso en donde no se tenía consumo se asignaron en función de la edad del equipo de combustión, capacidad del equipo, tipo de combustible y horas de operación.

Para ductos y chimeneas no se corrigieron las desviaciones la razón de esto es: los datos de ductos y chimeneas tienen que ser tomados en campo y una segunda razón es que el cálculo de emisiones que se realizara es por factores de emisión y los datos físicos de los ductos y chimeneas no afecta este cálculo, si el cálculo de emisión se realizara con los estudios de monitoreo es necesario obtener en campo estos datos, ya que cuando se calculan las emisiones con estos datos los errores son mayor, el cálculo de emisiones es sensible a los datos de velocidad y diámetro del ducto o chimenea.

### 5.3.3. Análisis de los resultados de las emisiones

El cálculo de emisiones se realiza con los datos de la Cédula de Operación Anual que se entrega a principio de cada año, la metodología que se utiliza es la que se presento en el capítulo 3. A continuación se presenta la evolución del cálculo de emisiones por etapas correspondiente al control de calidad.

### 5.3.4. Evolución del cálculo de emisiones totales de las fuentes industriales en ton/año

Los resultados obtenidos con la captura de la información se muestran en la tabla 4.9, se aprecia que las emisiones son generadas solo por un giro industrial, el resto de los giros contribuyen con muy poco al inventario global, es importante resaltar que son los resultados del programa utilizado por el municipio de Naucalpan y no se aplico ningún procedimiento de control y mucho menos se consideraron criterios para la captura. Los contaminantes que se calcularon son Partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>), Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Compuestos Orgánicos Totales (COT).

Tabla 4.9 Resultados sin el control de calidad durante la elaboración del inventario.

<b>Clasificación Subsector (Giros industriales)</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	0.0	0.0	0.1	0.9	4.0
Industria de la madera y productos de madera	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Productos de papel, imprentas y editores.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	0.0	1.2	0.1	0.6	0.0
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	238.4	0.3	1430.6	8345.0	238.4
Otras industrias manufactureras.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Totales</b>	<b>238</b>	<b>2</b>	<b>1431</b>	<b>8347</b>	<b>242</b>

En estas condiciones hacer el control de calidad a la base original lleva mucho tiempo si esta no se sistematiza, es necesario revisar todo los registros dentro de la base de datos y recalculer el inventario.

Implementando el Control de Calidad que se discutió en el capítulo 2, los resultados obtenidos después de calificar la base de datos y corregir las desviaciones del Nivel 1 y Nivel 2 se ven en la tabla 4.10 y no todos los giros industriales contribuyen con las emisiones en el inventario, el giro

Textiles, prendas de vestir e industria del cuero son los que contribuyen mas en el inventario final.

Tabla 4.10 Resultados Corrigiendo las desviaciones del Nivel 1 y Nivel 2

<b>Clasificación Subsector (Giros industriales)</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	0.152	0.094	0.704	3.497	0.194
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	1.880	62.370	4.610	22.461	2.532
Industria de la madera y productos de madera	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
Productos de papel, imprentas y editores.	0.155	5.511	0.388	1.552	0.043
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	0.142	4.436	0.389	1.805	0.056
Prod. Minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	0.022	0.270	0.076	0.536	0.020
Prod. Metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	0.252	1.538	1.047	7.261	0.268
Otras industrias manufactureras.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Totales</b>	<b>2.60</b>	<b>74.21</b>	<b>7.21</b>	<b>37.11</b>	<b>3.11</b>

Siguiendo con el Control de Calidad, se corrigen las desviaciones del Nivel 3, los resultados se ven en la tabla 4.11, lo mismo que en la tabla anterior no todos los giro industriales contribuyen con las emisiones en el inventario, el giro Textiles, prendas de vestir e industria del cuero son los que contribuyen mas en el inventario final.

Tabla 4.11 de resultados después de revisar la eficiencia de los equipos de combustión corrección de las desviaciones del Nivel 3.

<b>Clasificación Subsector (Giros industriales)</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	0.25	6.26	0.74	3.95	0.21
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	2.62	31.73	8.67	40.67	2.35
Industria de la madera y productos de madera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Productos de papel, imprentas y editores.	0.17	5.93	0.42	1.67	0.05
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	0.20	6.12	0.56	2.68	0.08
Prod. Minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	0.02	0.27	0.08	0.54	0.02
Prod. Metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	0.16	1.54	0.62	4.13	0.15
Otras industrias manufactureras.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	<b>3.41</b>	<b>51.84</b>	<b>11.08</b>	<b>53.64</b>	<b>2.85</b>

Finalmente en la tabla 4.12 se ve la evolución del inventario de emisiones, el cambio mayor es cuando se hace las correcciones del primer nivel de los datos y se modifican un poco cuando se realizan las correcciones del tercer nivel.

Tabla 4.12 Resumen final después del proceso de control

<b>Control de calidad</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT</b>
Correcciones Primer Nivel	238	2	1431	8347	242
Correcciones Segundo Nivel	2.60	74.21	7.21	37.11	3.11
Correcciones Tercer Nivel	3.41	51.84	11.08	53.64	2.85

#### 5.4. Inventario de Emisiones industriales en el municipio de Naucalpan Juárez

Una vez terminado el control de calidad y calculando las emisiones con los resultados obtenidos con el proceso de control, los resultados se puede presentar de la siguiente forma.

##### 5.4.1. Emisiones por giro industrial en el municipio de Naucalpan

La clasificación que se utiliza para los resultados por giro industrial es la Clasificación Mexicana de Actividades Productivas para México (INEGI 96). Este catálogo nos permite clasificarlas a nivel de actividades y productos que se elaboran o comercializan, a pesar de esto la clasificación actualmente utilizada tiene algunas lagunas para hacer una clasificación a mayor detalle y no sirve para hacer comparación entre otros países.

A continuación en la tabla 4.13 se presentan los resultados en forma agrupada por subsector a nivel local, cabe aclarar que la calificación por efectos de reporte simplificado se presenta de esta manera y en alguna ocasiones es necesario llegar hasta el nivel de la actividad. En la tabla 4.13 se ve que el giro textiles, prendas de vestir e industria del cuero contribuyen con la mayor cantidad de emisión dentro del inventario, esto no significa que sea el más contaminante de todos los giros industriales, la contribución de las emisiones están en función del número de industrias por giros, el número de equipos de combustión, el consumo total del combustible y tipo de combustible.

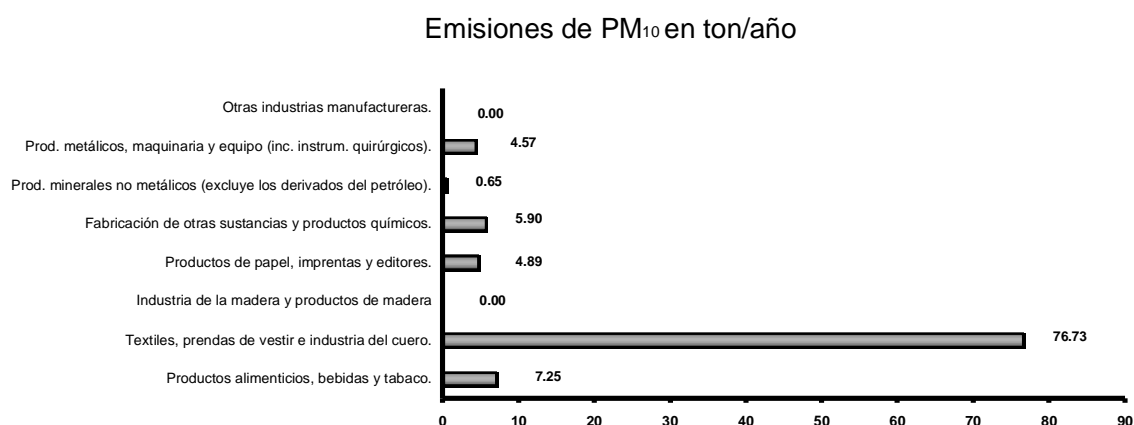
Tabla 4.13 Resumen de emisiones en ton/año y por giro industrial

<b>Clasificación Subsector (Giros industriales)</b>	<b>Numero de empresas</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	6	0.25	6.26	0.74	3.95	0.21
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	26	2.62	31.73	8.67	40.67	2.35
Industria de la madera y productos de madera	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Productos de papel, imprentas y editores.	10	0.17	5.93	0.42	1.67	0.05
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	20	0.20	6.12	0.56	2.68	0.08
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	4	0.02	0.27	0.08	0.54	0.02
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	30	0.16	1.54	0.62	4.13	0.15
Otras industrias manufactureras.	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>3.417</b>	<b>51.849</b>	<b>11.082</b>	<b>53.640</b>	<b>2.857</b>

### Análisis de emisiones por contaminante y giro industrial

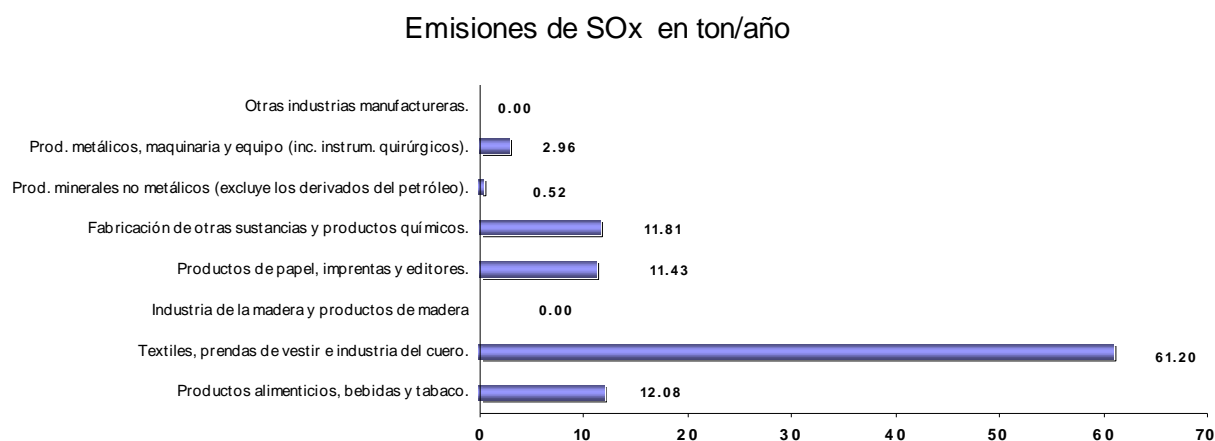
La contribución de emisiones de PM<sub>10</sub> por giro industrial queda de la siguiente forma, 76.73 %, para el giro de Textiles, prendas de vestir e industrias del cuero, 5.90 % para el giro de fabricación de otras sustancias y productos químicos, 4.89 % para el giro productos de papel, imprentas y editores. El resto de los giros suman 12.48 %

Grafica 4.2 Emisiones de PM<sub>10</sub> en ton/año por giro industrial



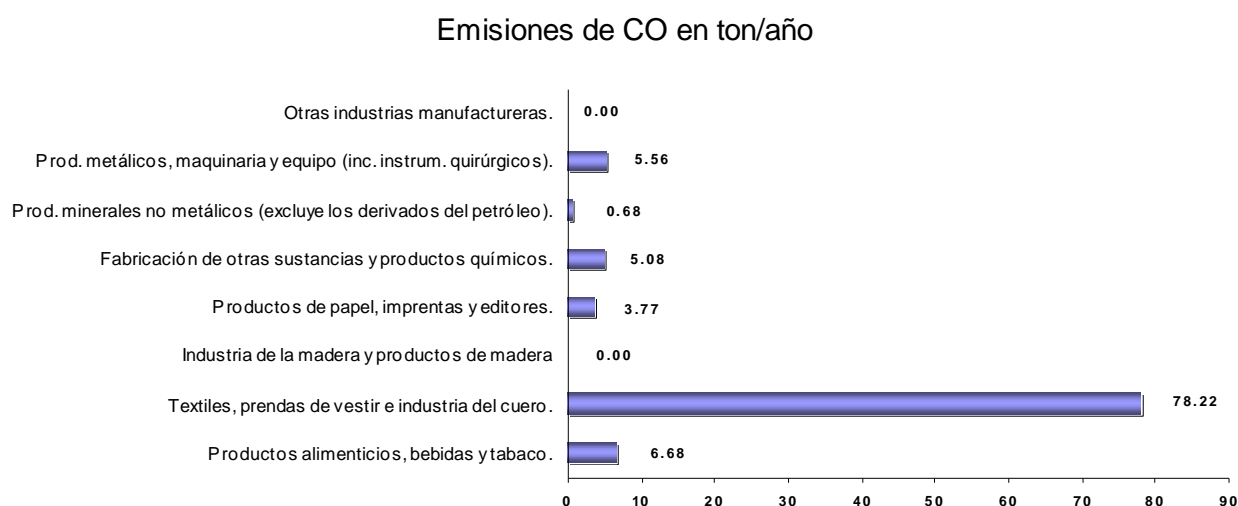
La contribución de emisiones de SO<sub>x</sub> por giro industrial queda de la siguiente forma, 61.20 %, para el giro de Textiles, prendas de vestir e industrias del cuero, 12.08 % para el giro de productos alimenticios, bebidas y tabaco, 11.81 % para el giro de fabricación de otras sustancias y productos químicos, 11.43 % para el giro productos de papel, imprentas y editores. El resto de los giros suman 3.48 %

Grafica 4.3 Emisiones de SO<sub>x</sub> en ton/año por giro industrial



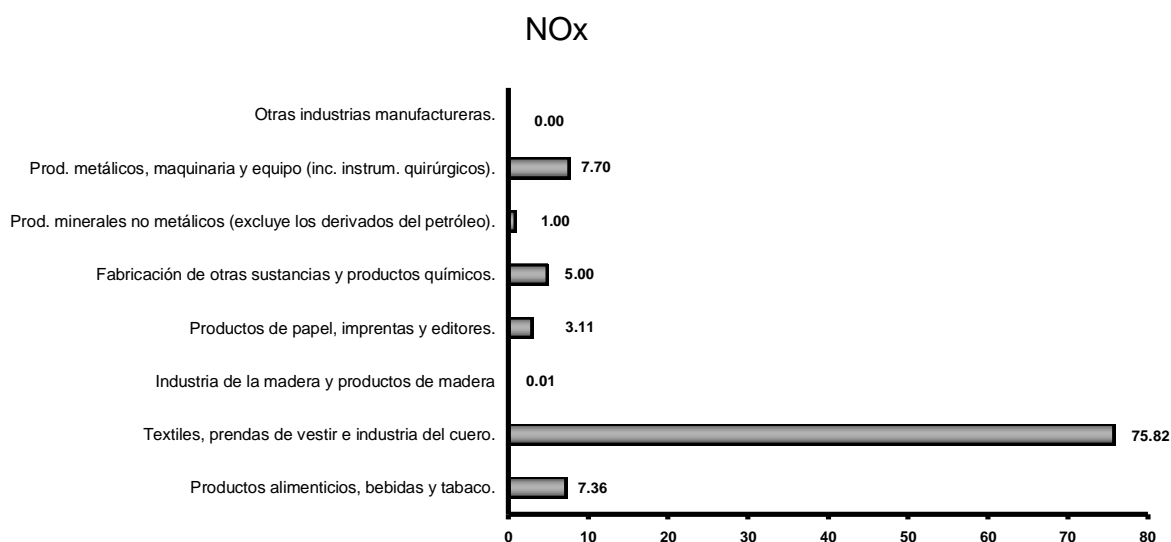
La contribución de emisiones de CO por giro industrial queda de la siguiente forma, 78.22 %, para el giro de Textiles, prendas de vestir e industrias del cuero, 6.68 % para el giro de productos alimenticios, bebidas y tabaco, 5.56 % para el giro de productos metálicos, maquinaria y equipos, 5.08 para el giro de fabricación de otras sustancias y productos químicos, 11.43 % para el giro productos de papel, imprentas y editores. El resto de los giros suman 4.46 %

Grafica 4.4 Emisiones de CO en ton/año por giro industrial



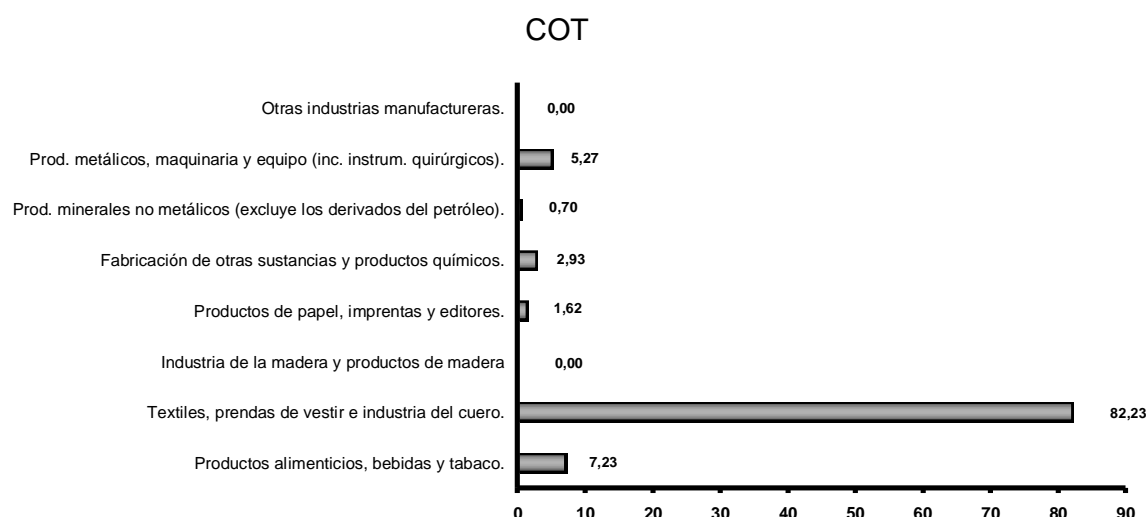
Para las emisiones de NOx la contribución por giro queda de la siguiente forma 76.82 % para textiles, prendas de vestir e industria del cuero, 7.7 % para productos metálicos maquinaria y equipo, 7.36 % para producto alimenticios bebidas y tabaco. Los giros restantes contribuyen con 8.12 % de las emisiones de NOx

Figura 4.5 Emisiones de NOx en ton/año por giro industrial



Para las emisiones de COT la contribución por giro queda de la siguiente forma 82.23 % para textiles, prendas de vestir e industria del cuero, 7.23% para productos alimenticios bebidas y tabaco, 5.27 % para producto metálicos maquinaria y equipo. Los giros restantes contribuyen con 8.12 % de las emisiones de COT

Grafica 4.6 Emisiones de COT en ton/año por giro industrial



#### 5.4.2. Emisiones por parque industrial en el municipio de Naucalpan

Existe varios parques industriales en el municipio de Naucalpan en los cuales se encuentran instaladas la mayo parte de las industrias que se incluyeron en el inventario y solo 6 están en otras colonias del municipio. El parque industrial con mayo población industrial es Alce blanco seguido por atoto y Industrial Naucalpan en tres los tres suman casi el total de las emisiones del inventario y un porcentaje pequeño en otras colonias.

Tabla 4.14 Tabla resumen por parque industrial

Parque industrial	Numero de empresas	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT
Industrial Alce blanco	55	2.501	28.062	8.302	38.902	2.369
Industrial atoto	15	0.285	5.052	0.998	6.097	0.21
Industrial naucalpan	2	0.007	0.000	0.031	0.226	0.01
Industrial la perla	3	0.008	0.000	0.035	0.258	0.01
Industrial tlatilco	5	0.006	0.000	0.026	0.190	0.01
Parque industrial Naucalpa	14	0.069	0.239	0.296	2.098	0.08
Otras colonias	6	0.541	18.495	1.393	5.869	0.17
Totales	100	3.41	51.84	11.08	53.64	2.85



## 5.5. Balance de energía para el inventario

Los tres combustible que mas se usan son Diesel, Gas LP y Gas Natural, y en menor consumo combustóleo y gasóleo, en teoría los combustible gaseoso son mas limpios como el gas LP y el Gas Natural, el contenido de azufre es mas bajo que los combustibles líquidos esto se puede ver en la NOM-086-SEMARNAT, en base a los consumos de la tabla 4.15 la energía de combustibles fósiles que se necesita en el Municipio de Naucalpan es alrededor de 1 Pj es muy poca en comparación con la que se consumen en la Zona metropolitana del Valle de México que son alrededor de 160 Pj para todas las industrias en la ZMVM (CAM,2002).

Tabla 4.15 Tabla de consumo de combustibles en m<sup>3</sup>/año y kcal/año

Combustible	m <sup>3</sup> /año	Kcal/año
<b>Combustóleo pesado</b>	83	841,361,751
<b>Diesel</b>	5,249	48,089,457,335
<b>Gas lp</b>	7,759	6,610,950
<b>Gas natural</b>	16,641,692	168,047,803,745
<b>Gasóleo</b>	535	5,157,833,800

Nota la conversión se realiza en función de los poderes caloríficos ver anexo

### 5.5.1. Emisiones por tipo de combustible

En la tabla 4.16 en la que esta el inventario de emisiones por tipo de combustible, se aprecia que el combustible que genera mas emisiones es el diesel, en relación al consumo tabla 4.15 el Gas Natural es el de mayor consumo por lo que podemos decir que el combustible mas limpio es el Gas natural. Para el desarrollo de políticas medio ambientales es necesario tener cuidado ya que se reduce la generación de un contaminante pero se puede aumentar la generación de otro.

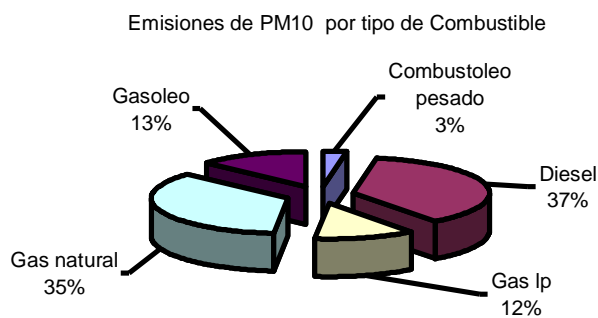
Tabla 4.16 Emisiones en ton/año y por tipo de combustible

Tipo de Combustible	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT
<b>Combustóleo pesado</b>	0.099	6.243	0.050	0.547	0.016
<b>Diesel</b>	1.260	44.724	3.150	12.598	0.350
<b>Gas lp</b>	0.410	0.009	1.843	13.407	0.503
<b>Gas natural</b>	1.198	0.160	5.592	26.627	1.544
<b>Gasóleo</b>	0.449	0.713	0.448	0.461	0.444
<b>Totales</b>	3.41	51.84	11.08	53.64	2.85

En base a los datos de consumo de combustibles tabla 4.15 y las emisiones por tipo de combustible tabla 4.16 se construyen los porcentajes de contribución de las emisiones que se tiene en la grafica 4.2 se ve que el 37 % de las emisiones de PM<sub>10</sub> son generadas por el Diesel, esto se justifica por el contenido de cenizas en el combustible, mientras que el 35 % de las emisiones de PM<sub>10</sub> son generadas por el Gas Natural y El 12% de las emisiones de PM<sub>10</sub> son

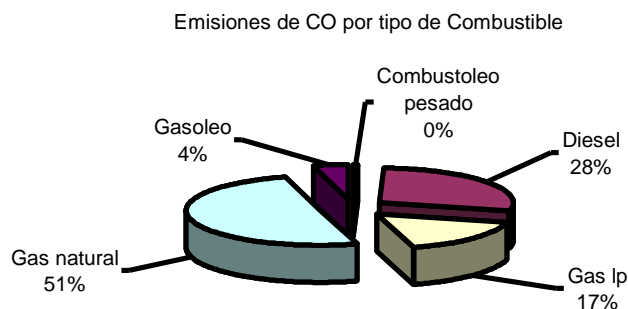
producidas por el Gas lp. Finalmente el combustóleo y el gasóleo contribuyen solo con el 16% de las emisiones de PM<sub>10</sub>

Grafica 4.2 Porcentaje de contribución de PM<sub>10</sub>



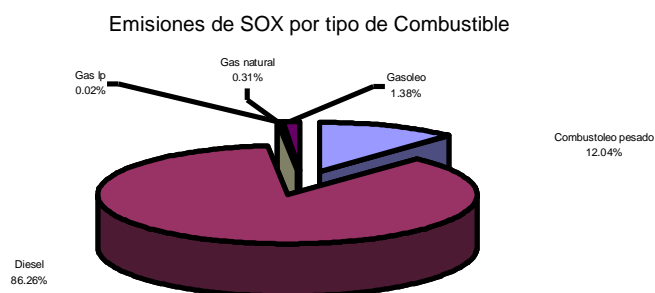
Es la grafica 4.3 se ve que el 51 % de las emisiones de CO son generadas por el Gas Natural, mientras que el 28 % de las emisiones de CO son generadas por el Diesel, el 17 % de las emisiones de CO son generadas por el Gas lp. Finalmente el combustóleo y el gasóleo contribuyen con el 4 % de las emisiones de CO. La generación mayor de CO se explica por los altos consumos de Gas natural

Grafica 4.3 Porcentaje de contribución de CO



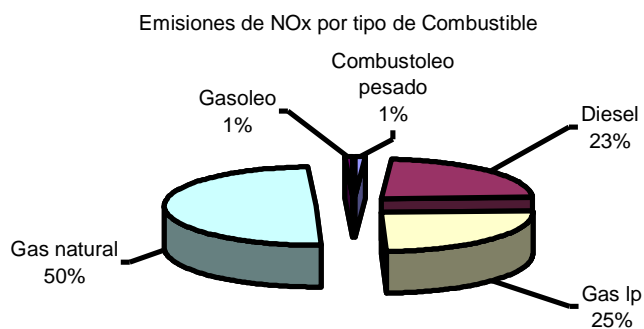
Es la grafica 4.4 se ve que el 86.26 % de las emisiones de SOx son generadas por el Diesel, esto se justifica por el contenido de azufre en el combustible, mientras que el 12.04 % de las emisiones de SOx son producidas por el combustóleo a pesar que el consumo de combustible sea mucho mas pequeño que los demás. Finalmente el Gas Natural, el Gas lp y el Gasóleo contribuyen con el 1.7 % de las emisiones de SOx

Grafica 4.4 Porcentaje de contribución de SOx



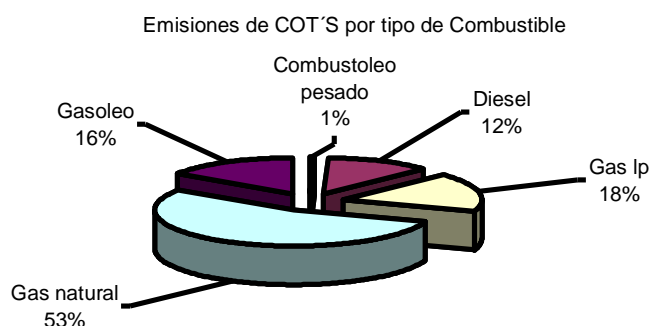
Es la grafica 4.5 se ve que el 49.64 % de las emisiones NOx son generados por el Gas natural, el 24.99 % de las emisiones de NOx son generadas por el Gas lp, el 23.49 % de las emisiones de NOx son generados por el Diesel. Finalmente el Combustóleo y el Gasóleo contribuyen con el 3 % de las emisiones de NOx

Grafica 4.5 Porcentaje de contribución de NOx



Es la gráfica 4.6 se ve que el 53 % de las emisiones de COT's son generadas por el Gas natural, el 18 % de las emisiones son generadas por el Gas lp, el 16 % de la emisiones de COT's son generadas por el Gasóleo, el 12 % de las emisiones de COT's son generadas por el Diesel. Finalmente el Combustóleo contribuye con el 1 % de las emisiones de NOx

Grafica 4.6 Porcentaje de contribución de COT'S



### 5.5.2. Emisiones por combustión indirecta

Emisiones por combustión en calderas

En la tabla 4.17 se seleccionaron los equipos de combustión indirecta por giro industrial en la cual se ve que la contribución mayor en la del giro textiles, prendas de vestir e industrias del cuero.

Tabla 4.17 Emisiones por combustión indirecta

Clasificación Subsector (Giros industriales)	Número de empresas	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	6	0.06	0.01	0.26	1.35	0.07
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	26	2.51	31.63	8.18	37.21	2.22
Industria de la madera y productos de madera	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Productos de papel, imprentas y editores.	10	0.17	5.93	0.42	1.67	0.05
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	20	0.14	4.33	0.36	1.65	0.05
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	4	0.01	0.27	0.00	0.02	0.00
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	30	0.06	1.53	0.20	1.07	0.04
Otras industrias manufactureras.	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<b>100</b>	<b>2.94</b>	<b>43.70</b>	<b>9.43</b>	<b>42.97</b>	<b>2.42</b>

### 5.5.3. Emisiones por combustión Directa

Emisiones por combustión en Hornos, calentadores, secadores, freidoras

Las emisiones por combustión en equipos de proceso principalmente hornos, calentadores, secadores, freidoras, y otros se ve en la tabla 4.18 el giro con mayor contribución es el giro de productos alimenticios, bebidas y tabaco.

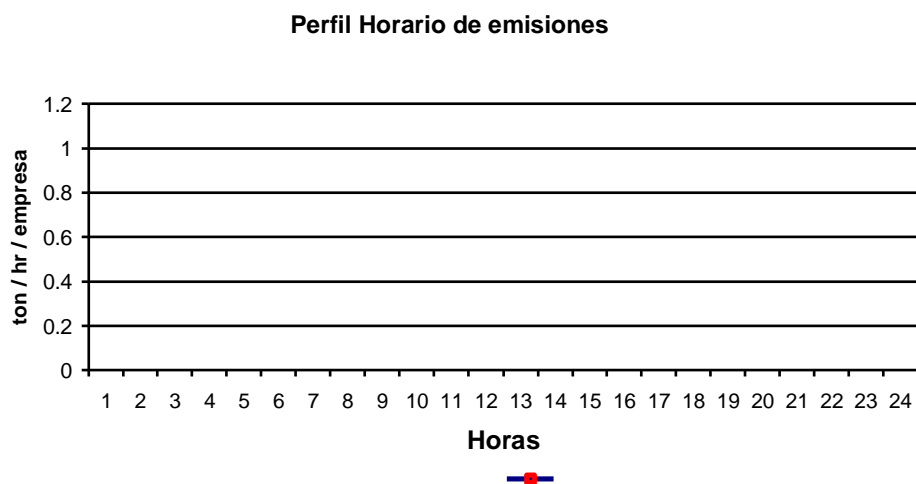
Tabla 4.18 Emisiones de combustión directa

Clasificación Subsector (Giros industriales)	Número de empresas	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT'S
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	6	0.19	6.26	0.48	2.60	0.13
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	26	0.11	0.10	0.49	3.46	0.13
Industria de la madera y productos de madera	2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Productos de papel, imprentas y editores.	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	20	0.07	1.79	0.20	1.03	0.03
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	4	0.02	0.00	0.07	0.52	0.02
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	30	0.09	0.00	0.42	3.06	0.11
Otras industrias manufactureras.	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>0.48</b>	<b>8.15</b>	<b>1.66</b>	<b>10.67</b>	<b>0.44</b>

### 5.6. Perfil horario de emisiones

El perfil de emisión para el grupo de industrias que se evaluó y se incluyó en el inventario se ve en la gráfica 4.2, se observa que el horario con mayor emisión esta en el horario de 6:00 a 15:00 hr, la razón de esto es que existen 3 turnos de operación: el primer turno que inicia a las 6:00 hrs y termina a las 14:00 hrs, el segundo turno inicia a las 6:00 hrs y termina a las 10:00 hrs y el tercer turno inicia a las 6:00 hrs y termina a las 6:00 hrs del día siguientes. En resumen, tenemos turnos de 8 ,16 y 24 horas.

Grafica 4.7 Perfil horario de emisiones



## 5.7. Proyección de Emisiones

Para realizar esta proyección fue necesario contar con un inventario actualizado del Municipio de Naucalpan. Para el año base de las emisiones se tomo el inventario que nos dio como resultado del control de calidad 2002 la proyección principalmente nos refleja un comportamiento con incrementos pequeños año con año estos crecimiento en la emisión con respecto del año base tiene varias implicaciones principalmente al problemática socio económica, crecimiento poblacional, extensión de la mancha urbana, otras situaciones que repercuten directa o indirectamente.

En general para fuentes puntuales la proyección puede calcularse con la ecuación 3.5 que se explico en la sección 3.7

Los datos con los que se construye la proyección esta en la tabla 4.20

Tabla 4.20 Datos necesarios para la proyección

Variables	Valor	Referencia	
$E_{base}$	123 este valor se obtiene de la suma total de los contaminantes en ton/año	Inventario 2002 para Naucalpa, Montufar 2004	
<b>G</b>	Año	Población total de Naucalpan a mitad de cada año. CONAPO 2002	
	Incremento		
	2000		0.0057
	2001		0.0053
	2002		0.0050
	2003		0.0046
	2004		0.0043
	2005		0.0040
	2006		0.0038
	2007		0.0035
	2008		0.0033
	2009		0.0031
	2010		0.0031
	2011		0.0031
2012	0.0031		
2013	0.0031		
2014	0.0031		
2015	0.0031		
<b>C</b>	1 Para escenarios sin control	No existe referencia de medidas de control	

### 5.7.1. Año base para el cálculo

Para efectos de la proyección se obtiene la suma de todas las emisiones como se ve en la tabla 4.21, en la cual las emisiones totales están alrededor de 123 ton/año. Para la planeación de

programas de control y prevención de la contaminación la proyección sirve para construir escenarios de control de reducción de emisiones.

Tabla 4.21 Año base para la proyección de emisiones.

<b>Clasificación Subsector (Giros industriales)</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COT'S</b>	<b>Emisiones totales</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	0.25	6.26	0.74	3.95	0.21	11.41
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	2.62	31.73	8.67	40.67	2.35	86.04
Industria de la madera y productos de madera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Productos de papel, imprentas y editores.	0.17	5.93	0.42	1.67	0.05	8.23
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	0.20	6.12	0.56	2.68	0.08	9.65
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	0.02	0.27	0.08	0.54	0.02	0.92
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum. quirúrgicos).	0.16	1.54	0.62	4.13	0.15	6.59
Otras industrias manufactureras.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	<b>3.42</b>	<b>51.85</b>	<b>11.08</b>	<b>53.64</b>	<b>2.86</b>	<b>122.84</b>

### 5.7.2. Proyecciones a 5, 10, 15 años

La planeación de escenarios generalmente se hace para 5,10, 15, o más y para ver los efectos de las medidas de control implementadas, los programas son a largo plazo. La proyección de emisiones año por año se ve en la tabla 4.22.

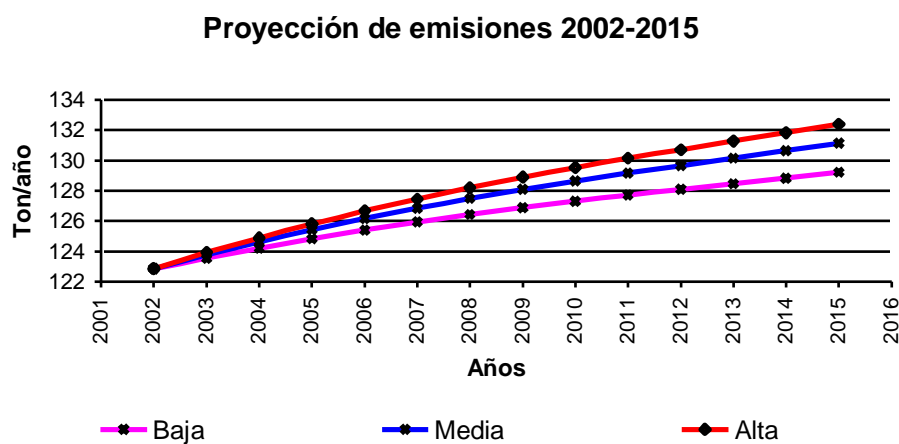
Tabla 4.22 Proyección de emisiones al 2015

<b>Proyección de emisiones</b>			
<b>Años</b>	<b>Ton totales/año</b>	<b>Incremento anual</b>	<b>Proyección</b>
2002	123	0.000	122
2003	123	0.704	123
2004	123	0.656	124
2005	123	0.611	124
2006	123	0.569	125
2007	123	0.530	125
2008	123	0.494	126
2009	123	0.461	126
2010	123	0.430	127
2011	123	0.402	127
2012	123	0.376	128
2013	123	0.376	128
2014	123	0.376	128
2015	123	0.376	129.2061

Es necesario realizar varios escenarios de proyección como se ve en la grafica 4.2, los escenarios mas comunes son alto, Medio, Bajo; el escenario bajo se realiza con el crecimiento natural en

este caso el crecimiento natural de la población reportado por ( CONAPO, 2002) , para los otros des escenarios el incremento es 20 y 30 % mas con respecto a la línea base de emisiones.

Grafica 4.2 Proyección de emisiones tomando como base el inventario 2002



Los resultados antes expuestos sirven de herramienta para desarrollar planes y programas de regulación y de calidad del aire, o para actualizar el inventario en una zona



## Capítulo 5 Conclusiones

Los inventarios desarrollados en México han sido utilizados para la planeación de políticas ambientales y en algunos casos para valorar los impactos en la salud y al medio ambiente. Es necesario desarrollar inventarios a mayor detalle y con un grado de confiabilidad alto que nos permita satisfacer las necesidades de diferentes áreas.

El control de calidad del inventario de emisiones es un proceso que debe estar bien estructurado para evitar errores en el momento de realizar cada una de las actividades del inventario, los errores dentro del inventario generalmente se convierten en la incertidumbre del inventario. La evaluación del control de calidad que se desarrollo en este trabajo nos permite identificar los errores y las desviaciones con respecto a criterios determinados.

La metodología propuesta para la evaluación y control de calidad de la base de datos incluye principalmente los siguientes pasos desarrollados en la tesis:

- a) Evaluación del control de calidad
- b) Calificación de la base de datos
- c) Identificación de las desviaciones
- d) Corrección de las desviaciones

La teoría usada para valorar los datos del inventario en función de los criterios calificados por los expertos, nos permitió satisfacer las necesidades de cada área evaluada, que incluyen: Planeación de inventarios de emisiones, Modelación de la calidad del aire, Indicadores de desempeño ambiental, Inventario de emisiones.

Este desarrollo metodológico se puede usar para inventarios ya realizados y/o para inventarios nuevos y nuevas aplicaciones. Una de las ventajas del método de control de calidad desarrollado, es que no necesita personal experto para poder realizar el control, ya que los criterios desarrollados y el tratamiento de los datos nos refleja los posibles problemas en el desarrollo del inventario y esta metodología nos permite sistematizar el proceso de control de calidad.

Se obtuvo también la confiabilidad de la base de datos del caso estudio, la cual nos permite identificar las desviaciones en la base de datos, principalmente en:

- a) Ubicación de la fuentes de estudio
- b) Actividad principal
- c) Equipos de combustión
- d) Equipos de proceso
- e) Emisiones

Al corregir las desviaciones encontradas obtenemos una base de datos con mayor confiabilidad.

Una ventaja más del control de calidad es poder reducir el tiempo para realizar el inventario de emisiones, esto se logró con el desarrollo de un programa que integra varias etapas del inventario en las cuales se incluyeron rango de valores y criterios del control de calidad. La metodología es aplicable a la mayoría de las fuentes industriales que existen en los estados de la Republica y estén reguladas por la entidad correspondiente.

Las desventajas que se encontraron en este proceso de control de calidad son:

- a) Solamente se puede utilizar para el cálculo de inventario de emisiones de fuentes industriales que se regulan en las diferentes secretarías de gobierno.
- b) No reduce la incertidumbre por las fuentes que no están reguladas.
- c) El uso de los factores de emisión puede tener diferencias de un año a otro causando cambios sustanciales en el inventario de emisiones.
- d) Los factores tomados para el desarrollo del inventario son de la EPA-AP 42 que son los más utilizados en México, estos factores no reflejan las condiciones reales de operación de las industrias en México.

Los logros de la metodología se resumen entonces en aumentar la rapidez en la evaluación y control del cálculo de emisiones, en determinar los criterios necesarios para evaluar un inventario y en sistematizar el proceso. Los Trabajos futuros incluyen: finalizar un software que sistematice todas las etapas, desarrollar las guías de referencia para la implementación de la evaluación del control de calidad y desarrollar un sistema de calidad para elaborar inventarios de emisiones a nivel local.

## Bibliografía

Álvarez, José Rogelio. Enciclopedia de México, Editorial Enciclopedia de México, Vol 9, México, 1978.

American Lung Association. 2001. *Annotated Bibliography of Recent Studies of the Health Effects of Ozone Air Pollution: 1997–2001*.

Bates DV. Air Pollution: The environmental Phoenix. Can J Public Health 1998; 89: 149.

Benedick, R, Ozono Diplomacy. Harvard Unoverdity Press. Cambridge mass, 1991.

CCA. 2001. *En balance 1998: Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte. Libro fuente*.

Centro Estatal de Estudios Municipales. Los Municipios del Estado de México, Colección: Enciclopedia de los municipios de México, México, D. F. 1988

Gutiérrez Arzaluz, Pedro. Ocoyoacac monografía municipal 1997, Gobierno del Estado de México/AMECROM

Comisión Ambiental Metropolitana, Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010,2002, CAM

Comisión para la Cooperación Ambiental, Aumento de la Comparabilidad de los Inventarios de Emisiones Atmosféricas en Canadá, Estados Unidos y México, 2001

Cosidine , Tendencias de las tecnologías energéticas, marcombo México, 1977

Dab W, Medina S, Quenel P, Le Moullec Y, Le Tertre A, Thelot B *et al*. Short term respiratory health effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. J Epidemiol Community Health 1996; 50 Suppl 1: 42-46.

EIIP. 1996. General QA/QC Methods, Final Report, Volume VI, Chapter 3, Quality Assurance Committee, Emission Inventory Improvement Program, Research Triangle Park, North Carolina Emission inventory , Texas air Control Board, Workschop 1993

Emission Inventory Improvement Program. *EIIP Phase 2-Future Directions for a New Millennium*. Elaborado por el Grupo de Trabajo Permanente sobre Emisiones Atmosféricas, el Subcomité para el Mejoramiento de los Inventarios de Emisiones y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Environment Canada. 1999. *Canada's Greenhouse Gas Inventory: 1997 Emissions and Removals with Trends*. ISBN 0-662-27783-X. Abril.

Environment Canada. 2000. *Canada's Greenhouse Gas Inventory. 1990–1998: Final Submission to the UNFCCC Secretariat*. Octubre.

EPA. 1999a. *Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A beginner's Guide for Point and Area Sources*. EPA-454/R-99-037.

EPA. 1999b. *Emission Inventory Guidance for Implementation of Ozone and Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and Regional Haze Regulations*. EPA-454/R-99-006. Abril.

EPA. 2000a. *National Air Pollutant Emission Trends: 1990–1998*. Office of Air Quality, Planning and Standards, US Environmental Protection Agency. EPA-454/R-00-002. Marzo.

EPA. 2000b. *Consolidated Emission Reporting*. Federal Register. Volumen 65, número 100, martes 23 de mayo.

EPA. 2001a. *The 1999 National Emission Inventory Preparation Plan*.

EPA. 2001b. *The Inventory of US Greenhouse Gas Emission and Sinks: 1990–1999*. US EPA 236-R-01-001. Abril.

Felix, R. Suppen N. Figarola A. "Rough set based evaluation of environmental data". Applied Soft Computing. Elsevier. En revision.

Field Barry C, *Environment Today*. Longman, Second Edition, Singapore, 1995.

*Fundamentos del programa de inventarios de emisiones para México*. INE. 2001.

Gobierno del Distrito Federal, *Inventario de Emisiones Zona Metropolitana del Valle de México*, GDF, 1998

Guevara, E. , *Ética y Educación Ambiental*. Dirección general de medio. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2000.

Guevara, E., *Ética Ambiental y Políticas de Conservación de los recursos*. CDCH-UC, Valencia , Venezuela., 1999.

International Joint Commission. *Air Quality Agreement 2000 Progress Report*.

*Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México*, 1996.

*Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México*, 1998.

*Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México*, Comisión ambiental metropolitana, 1998

Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, Comisión ambiental metropolitana, 2002

Inventario de Precursores de Ozono y Monóxido de Carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1995.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1996

López N, Aladrén M, Urraca JI, Celma J. Situación de la contaminación atmosférica en la ciudad de Zaragoza durante el año 1998. Servicio Medio Ambiente. Ayuntamiento de Zaragoza, 1999.

Luisa T. Molina, Mario J. Molina, *Air Quality in the México Megacity*, Kluwer Academia Publishers, 2001.

Massachusetts Institute of Technology (MIT). 2000. *Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution, Mexico City Case Study*.

Ontario Ministry of the Environment (OMOE). 2001. *Air Quality in Ontario, 1998*.

Poeri Cervantes Zavadúa, Ricardo. Naucalán de Juárez monografía municipal 1987, Gobierno del Estado de México/AMECROM

RADIAN. Implementation Plan for Mexico Emissions Inventory Methodology. Radian Corporation, March 19, 1996.

Rhonda L. Thompson , A demonstration of the Quality Assurance (QA) software specifically developed for the National Emission Inventory (NEI), U.S. Environmental Protection Agency, 1999.

Saldiva PH, Pope CA, Schwartz J, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM *et al.* Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. *Arch Environ Health* 1995; 50: 159-163.

Sandoval J., Jaimes J.L., Zúñiga V., Marroquín, Ortiz R. y González E. Comparación de los resultados de cámaras de smog exteriores realizados en Los Angeles y en la Ciudad de México. *Memorias del Coloquio sobre Contaminación Atmosférica vol. II Colegio Nacional*, 1997.

Santana Benhumea, Graciela. Naucalpan ayer y hoy, Ayuntamiento Constitucional de Naucalpan, 1995.

Sawyer R.F., Harley R.A., Cadle S.H., Norbeck J.M., Slott R. and Bravo H. Mobile Sources Critical Review. NARSTO 1998 Critical Review. Acceso en Marzo 20, 2000 en la página

Schwartz J. What are people dying of on high air pollution days? *Environ Res* 1994; 64: 26-35.

Simpson RW, Williams G, Petroeschevsky A, Morgan G, Rutherford S. Associations between outdoor air pollution and daily mortality in Brisbane, Australia. Arch Environ Health 1997; 52: 442-454.

Vigotti MA, Rossi G, Bisanti L, Zanobetti A, Schwartz J. Short term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan, Italy, 1980-89. J Epidemiol Community Health 1996; 50.

Western Governors, Evaluation of the 1998 Emissions Inventory for the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico , Eastern Research Group, Inc.

Ligas consultadas

<http://narsto.owt.com/Narsto/critrev.papers.html>

[http://www.ec.gc.ca/pdb/ape/ape\\_tables/canada95\\_e.cfm](http://www.ec.gc.ca/pdb/ape/ape_tables/canada95_e.cfm)

<http://www.elp.gov.bc.ca/wdp/edpa/ar/airquality/inventory/>

<http://www.ene.gov.on.ca/>

<http://www.epa.gov/>

<http://www.epa.gov/ttn/chief/>

[http://www.gvrd.bc.ca/air/consumer\\_complains.htm](http://www.gvrd.bc.ca/air/consumer_complains.htm)

<http://www.sciencedirect.com/science>