

01177

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA 20  
DE MEXICO.

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CEDULA DE  
OPERACIÓN ANUAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

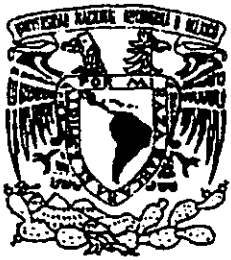
PRESENTA:  
TERESITA ROMERO TORRES

DIRECTORA DE TESIS: DRA. RINA AGUIRRE S.

MEXICO . D . F .

293942

JUNIO 2001





Universidad Nacional  
Autónoma de México

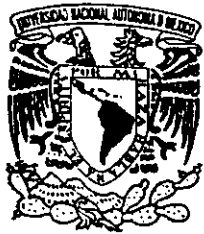


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

Recibí notificación para formar parte del jurado para el examen de la alumna:  
TERESITA ROMERO TORRES.

Departamento INGENIERIA AMBIENTAL

SECCION: AMBIENTAL 490

JURADO

FIRMA FECHA

PRESIDENTE: M. EN I. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA

VOCAL: DRA. RINA AGUIRRE SALDIVAR

SECRETARIO: DR. ADRIAN FERNANDEZ BREMAUNTZ

SUPLENTE M. EN I. FRANCISCA SOLER ANGULANO

SUPLENTE: DR. LEONARDO MARTINEZ

*[Handwritten signatures and dates]*  
23.05.01  
23.05.01  
23.05.01  
23.05.01  
25/05/01

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Rina Aguirre por su profesionalismo, paciencia, motivación y apoyo, que no sólo demostró en la dirección de la tesis, sino también en las innumerables horas de clase impartidas. Mi más profunda admiración y respeto.

A mis sinodales M. en I. Rodolfo Sosa, Dr. Leonardo Martínez, Dr. Adrián Bremauntz y M. en I. Francisca Soler por compartir conmigo su conocimiento y amplia experiencia en el tema, que finalmente permitieron delinear el trabajo final.

Un especial agradecimiento a la Dirección de Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Ecología, por las amables atenciones recibidas durante el desarrollo de este trabajo.

Un último agradecimiento no menos importante que los anteriores a Fundación ICA, A. C. y a la empresa Sistemas Integrales de Gestión Ambiental S.A. de C.V. por el apoyo financiero brindado.

---

## CONTENIDO

RESUMEN .....	i
Capítulo I. Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivo .....	3
1.3 Alcances y limitaciones .....	4
Capítulo II. Generalidades .....	5
2.1 Contaminación ambiental .....	5
2.1.1 Contaminación del agua .....	5
2.1.2 Contaminación del aire .....	6
2.1.3 Contaminación del suelo .....	11
2.2 Instrumentos de gestión ambiental .....	15
2.2.1 Acuerdos y convenios internacionales .....	15
2.2.2 Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes .....	18
2.2.3 Cédula de Operación Anual .....	22
Capítulo III. Manejo de información .....	26
3.1 Sistemas de información .....	26
3.1.1 Metodología para el desarrollo de un Sistema de Información .....	28
3.2 Bases de datos .....	28
3.3 Sistemas expertos .....	32
3.3.1 Diseño de un Sistema Experto .....	34
Capítulo IV. Metodología de evaluación de la Cédula de Operación Anual ...	37
4.1 Evaluación cualitativa .....	37
4.1.1 Criterios para asignar el factor de obligatoriedad .....	38
4.2 Evaluación cuantitativa .....	40
4.2.1 Adaptación de factores de emisión .....	41
4.2.2 Factor de aplicabilidad .....	43
4.2.3 Intervalos de calificación.....	45

---

---

4.3 Algoritmos de evaluación .....	46
Capítulo V. Aplicación de la metodología de evaluación al subsector de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	53
5.1 Proceso siderúrgico integral .....	54
5.1.1 Normatividad aplicable .....	61
5.2 Evaluación de las Cédulas de Operación Anual .....	62
5.2.1 Evaluación cualitativa .....	63
5.2.2 Evaluación cuantitativa .....	70
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones .....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXO I. Base de datos cualitativa .....	D*
ANEXO 2. Base de datos cuantitativa .....	D*

---

\* D: Disco magnético

---

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Principales contaminantes del agua, fuentes y efectos .....	5
2.2 Contaminantes del agua sujetos a reporte .....	6
2.3 Marco regulatorio en materia de contaminación del agua .....	7
2.4 Principales contaminantes del aire, fuentes y efectos .....	8
2.5. Marco regulatorio en materia de contaminación del aire .....	9
2.6 Residuos considerados como peligrosos por la normatividad vigente .....	12
2.7 Marco regulatorio en materia de residuos peligrosos .....	13
3.1 Ejemplo de un modelo relacional .....	31
5.1 Tabla resumen .....	57
5.2 Fuentes y tipos de emisión .....	59
5.3 Identificación de sustancias contaminantes .....	60
5.4 Fuentes de emisión .....	61
5.5 Nuevos factores de obligatoriedad propuestos para contaminantes atmosféricos .....	65
5.6 Nuevos factores de obligatoriedad propuestos para contaminantes emitidos al agua .....	68
5.7 Calificaciones cuantitativas del subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	71
5.8 Factores de emisión .....	72
5.9 Factores de emisión propuestos para equipos empleados en la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	74
5.10 Factores de emisión propuestos para actividades realizadas en la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	76

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.1 Metodología para el desarrollo de un Sistema de Información (SI) .....	29
3.2 Ejemplo de un modelo jerárquico .....	31
3.3 Ejemplo de un modelo de red .....	32
3.4 Concepto básico de la función de un Sistema Experto (SE) .....	33
3.5 Desarrollo de un Sistema Experto .....	35
4.1 Algoritmo para la evaluación cualitativa .....	47
4.2 Algoritmo para la evaluación cuantitativa .....	49
5.1 Proceso siderúrgico integral .....	56
5.2 Cumplimiento de reporte de las secciones de la COA del subsector de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	62
5.3 Evaluación cualitativa del subsector de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	63
5.4 Número de empresas que reportaron contaminantes atmosféricos .....	64
5.5 Número de empresas que reportaron contaminantes al agua .....	67
5.6 Número de empresas que reportaron residuos peligrosos .....	69
5.7 Frecuencia de errores encontrados durante la evaluación cuantitativa .....	70
5.8 Evaluación cuantitativa del subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero .....	71

---



## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ACAAN	Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte
Ca	Calificación asignada
CCA	Comisión de Cooperación Ambiental
CNA	Comisión Nacional del Agua
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo
Co	Tipo de combustible
COA	Cédula de Operación Anual
CONCAMIN	Confederación de Cámaras Industriales
Ea	Equipo o actividad
Ec	Equipo de control
Er	Emisión reportada
Et	Emisión teórica
Er <sub>T</sub>	Emisión reportada total
Et <sub>T</sub>	Emisión teórica total
Fa	Factor de aplicabilidad
Fe	Factor de emisión
Fo	Factor de obligatoriedad
INE	Instituto Nacional de Ecología
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Na	Nivel de actividad
NAPRI	North American Pollutant Release Inventory
NPRI	National Pollutant Release Inventory
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SE	Sistema experto
SECOFI	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SI	Sistema de información
SIEM	Sistema de Información Empresarial Mexicano
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
TRI	Toxics Release Inventory
UNITAR	Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional y la Investigación
S	Subsector industrial

---

## RESUMEN

Si bien la actividad industrial en el país genera un impacto benéfico en la economía, también impacta negativamente al consumir recursos naturales y generar contaminantes que deterioran el ambiente. Dado que los temas ambientales están siendo incorporados como una variable fundamental de negociación económica, la tendencia internacional se encamina hacia el desarrollo de registros de emisión que sirvan como un instrumento para el desarrollo de programas de prevención de la contaminación, enfocados a reducir o eliminar los efectos de la actividad industrial, cuidando no comprometer e incluso mejorar su competitividad.

Actualmente, México cuenta con un registro nacional denominado Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Con el objeto de integrar la información de las emisiones industriales a éste, el Instituto Nacional de Ecología instrumentó en 1997 un formato de reporte anual conocido como Cédula de Operación Anual (COA), obligatorio para las industrias de jurisdicción federal. Considerando que el RETC será la fuente de información ambiental de nuestro país, la calidad de la información en él integrada debe ser evaluada.

En el presente trabajo se desarrolla una metodología que evalúa cualitativa y cuantitativamente la información de la COA. La evaluación cualitativa examina los campos de la COA que deben ser llenados según los procesos industriales reportados en bibliografía, es decir, evalúa el completo llenado de la COA; mientras que la evaluación cuantitativa compara las emisiones reportadas con valores teóricos calculados a partir de factores de emisión, determinando con esto la exactitud de reporte.

El desarrollo de la metodología incluye la elaboración de dos bases de datos: una para caracterizar cada subsector industrial de acuerdo a los contaminantes que puede emitir y otra con los factores de emisión para el cálculo teórico de las emisiones. Además de evaluar la información de la COA, la metodología presenta la capacidad de complementar, mejorar y/o actualizar dichas bases de datos, lo cual se contempla en los algoritmos desarrollados para la programación computacional.

De esta forma, la evaluación de la COA contribuirá en la integración de un registro de emisiones confiable, a su vez que generará información para un mejor conocimiento de los procesos industriales nacionales.

La metodología propuesta se probó para 48 COAs entregadas en el 2000 por el subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero, evidenciándose un alto índice de incumplimiento en el reporte, principalmente de los contaminantes emitidos al agua y de las sustancias incluidas en el RETC. El análisis de la información presentada permitió generar 54 factores de emisión con baja confiabilidad, 34 corresponden a equipo y 20 a actividades; así como detectar los principales errores cometidos en el llenado.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La actividad industrial iniciada en México a partir de los años 40s ha tenido un papel protagónico en el desarrollo económico y social del país. Según estadísticas del INEGI (1998) ésta representa el 26.7% del PIB y genera el 28.1% del empleo total.

Sin embargo, la industria consume recursos y emite sustancias contaminantes al agua y atmósfera, además de generar residuos sólidos y peligrosos. Se estima que entre 1950 y 1960 el incremento de efectos adversos al ambiente sufrió una notable aceleración debido al aumento de ciertas ramas industriales y tecnologías altamente contaminantes. En respuesta a esta problemática se publicó en 1971 la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental que, aunque se basó fundamentalmente en criterios de salud, introdujo las primeras reglamentaciones para la industria y constituyó para México la primera legislación propiamente ambiental (González y Montelongo, 1999). No obstante, el bajo estímulo a la adopción de tecnologías más limpias y la baja o nula prioridad a los criterios ambientales en ese entonces, contribuyeron a que la mejora en la industria en el plano ambiental fuera mínimo.

### 1.1 ANTECEDENTES

En 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y de los reglamentos y normas técnicas ecológicas que la complementan, se consolidó el marco ambiental regulatorio para la actividad industrial en el país, mismo que fue adaptado posteriormente a las condiciones económicas y requerimientos en materia de impacto ambiental y control de descargas de agua, derivando en la reforma de 1996, enfocada a asegurar la viabilidad de las normas ambientales y fortalecer y enriquecer los instrumentos de política ambiental.

Considerando la intensidad de contaminación atmosférica sobre la base del volumen total de contaminantes emitidos, los giros industriales que más afectan al ambiente son la petroquímica básica, química e industria metálica, que representan más de la mitad de la contaminación generada por el sector en su conjunto (Especialistas Ambientales, 2000). Por lo tanto, las zonas con mayor volumen de emisiones corresponden a los grandes corredores industriales en donde existe una fuerte presencia de refinerías, plantas termoeléctricas o grandes metrópolis.

Por otra parte, el impacto ambiental de las aguas residuales industriales es relevante principalmente por la composición de éstas, que incluyen, dependiendo del giro industrial, metales pesados, grasas y aceites, sales, ácidos y residuos tóxicos en proporciones elevadas. Actualmente, la tecnología utilizada en la mayoría de los procesos industriales es poco eficiente con relación al uso del agua, reflejándose en una extracción excesiva de este recurso y en una mayor producción de contaminantes. Las industrias con mayor aportación de materia orgánica al agua es la azucarera con un 53 % del total, la elaboración de bebidas y fabricación de alcohol con un 10 % cada una y la petrolera,

celulosa y papel, alimenticia, metálica básica y química con un 5% cada una (Especialistas Ambientales, 2000).

En cuanto a residuos industriales, la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas del Instituto Nacional de Ecología reporta una generación anual de 3'328,045 toneladas de residuos químicos industriales en 1999 (INE, 2001a), tomando como fuente los reportes de manifestación de las empresas generadoras. Sin embargo, en un estudio realizado para la industria cementera se cuantificaron 11.5 millones de toneladas considerando el total de industrias generadoras instaladas en el país (SIGEA, 2000). Se estima que solo el 26 % de la cantidad total recibe un manejo adecuado, el resto se acumula en las instalaciones de las industrias o se dispone empleando procedimientos y prácticas inadecuadas. Los residuos que se generan en mayor cantidad son: aceites, grasas y solventes, que representan más del 45% del total; resinas, ácidos y bases que representan el 10% y desechos de pinturas y barnices con el 8%; siendo los giros industriales de mayor participación la industria minera<sup>1</sup>, la química básica orgánica e inorgánica, la petroquímica y la fabricación de plaguicidas y fertilizantes (INE, 1997). Dada la desproporción que guarda el volumen creciente de residuos industriales generados con respecto a la capacidad existente de manejo, vigilancia y control, con frecuencia se observa una disposición clandestina en tiraderos municipales, barrancas, derechos de vía, drenajes y cuerpos de agua.

Frente al impacto global que representa la actividad industrial resulta imprescindible contar con programas y acciones encaminados a reducir o eliminar sus efectos, cuidando no comprometer, e incluso mejorar, su competitividad.

En la actualidad, debido al proceso de globalización y la apertura de mercados de bienes y servicios, el tema ambiental está siendo incorporado como una variable fundamental de negociación económica internacional, principalmente en cuanto a los esquemas regulatorios que rigen dichas negociaciones.

En este sentido, la tendencia internacional se encamina hacia el desarrollo de registros de contaminación que compilen las emisiones contaminantes al aire, agua y suelo de diferentes fuentes, y permitan tener un entendimiento detallado y preciso del problema ambiental. La experiencia favorable de países como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Países Bajos y Gran Bretaña, permite calificar a los registros de emisión como instrumentos útiles para establecer requerimientos regulatorios de licenciamiento y reporte periódico de contaminantes en establecimientos industriales sobre una base sólida, además de apoyar el desarrollo de programas de prevención de la contaminación y difundir información ambiental (INE, 1999a).

Además de los puntos antes mencionados, la experiencia que se tiene en México con relación a la integración y manejo de estos registros, es que permiten evaluar el cumplimiento de la normatividad ambiental, analizar las tecnologías disponibles y realizar el seguimiento del aumento o disminución de los volúmenes de emisión.

A partir de estos antecedentes y como parte de las recomendaciones de la Agenda XXI (CNUMAD, 1992), diversas organizaciones internacionales promueven el desarrollo y uso

---

<sup>1</sup> Principalmente la extractiva de metales no ferrosos y de beneficio.

de estos registros. Dentro de los registros de emisión conocidos a nivel mundial se encuentra el *Toxics Release Inventory* (TRI) de Estados Unidos, el *National Pollutant Release Inventory* (NPRI) de Canadá y el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) de México.

El primer informe del RETC se publicó en diciembre de 1999 e integra la información sobre emisiones contaminantes al aire, agua y suelo de los diferentes municipios y estados que integran el país.

Para integrar la información de las industrias a este registro en 1997 se instrumentó un reporte anual que integra la información sobre la emisión de contaminantes a la atmósfera, agua y generación y manejo de sustancias peligrosas. Este reporte es denominado Cédula de Operación Anual (COA) y es obligatorio para las industrias de jurisdicción federal.

En vista de los múltiples beneficios que un registro de emisiones confiable y actualizado representa para direccionar políticas y estrategias en pro del ambiente y dar respuesta a compromisos y convenios internacionales, es imprescindible que la información contenida sea confiable; esto es, técnicamente validada.

## 1.2 OBJETIVO

Desarrollar una metodología para la evaluación de la información ambiental proporcionada por la industria a través de la Cédula de Operación Anual (COA).

Para cumplir con este objetivo se plantea el desarrollo de las siguientes actividades que corresponden a su vez a un capítulo del presente trabajo:

- A manera de introducción, en este capítulo se resaltó la importancia que tiene la actividad industrial en México como generadora de contaminantes y la tendencia internacional para reducir sus efectos adversos sobre el ambiente; presentando asimismo el objetivo, alcances y limitaciones de este trabajo.
- Posteriormente, se proporciona un marco teórico acerca del origen y efectos de los principales contaminantes emitidos por la industria a los tres medios (aire, agua y suelo), así como su marco regulatorio en el país. En este mismo apartado también se analizan los instrumentos de gestión ambiental vinculados con el desarrollo de registros de emisión.
- Como tercer capítulo se analiza el manejo de la información como instrumento para difundir y acceder al conocimiento; en este sentido, se mencionan las bases teóricas para elaborar un sistema de información con especial atención en el desarrollo de bases de datos. Así mismo, se profundiza en el conocimiento de un tipo específico de sistemas de información denominados sistemas expertos.
- La parte medular de esta tesis es el establecimiento de la metodología de evaluación de la COA dividida en una evaluación cualitativa y cuantitativa. Dicha actividad incluye

la elaboración de dos bases de datos, una que contiene la caracterización del subsector industrial con relación a los contaminantes que pueden ser emitidos y otra que compila factores de emisión; además del establecimiento del algoritmo para la evaluación y la definición de dos factores para establecer la obligatoriedad de reporte de los contaminantes y la confiabilidad de los factores de emisión compilados.

- Como ejemplo se aplica la metodología de evaluación propuesta a los reportes del subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero, y se analiza la información para adecuar las bases de datos y generar factores de emisión nacionales.
- Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo.

### 1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Los mayores alcances del presente trabajo son:

- Manifestar la importancia de la industria como generadora de contaminantes, justificando con esto su inclusión dentro del registro nacional de emisiones.
- Evidenciar la importancia de validar la información de la COA para constituir un registro de emisiones confiable.
- Establecer una metodología para evaluar el llenado completo y la exactitud de reporte de la COA, aún cuando este instrumento se aplique a actividades contaminantes diferentes de las hasta ahora consideradas.
- Ejemplificar el empleo de la metodología en un subsector industrial específico, para el cual se realiza un análisis que permite generar y adecuar su información.

Las limitaciones del trabajo se definen en cuanto a la disponibilidad de información, recursos y tiempo, siendo:

- No realizar la programación computacional de la metodología.
- Adecuar únicamente los datos para el subsector industrial tomado como ejemplo.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Se define como contaminación a la presencia en el ambiente de toda materia o energía, en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o al actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural altere o modifique su composición y condición natural (INE, 1999b). Bajo este contexto, en los siguientes apartados se mencionan las características generales de la contaminación del agua, aire y suelo, así como su marco regulatorio.

##### 2.1.1 Contaminación del agua

El aprovechamiento del agua en actividades industriales, municipales, agrícolas, pecuarias, domésticas, de servicios y de comercio provoca una alteración en su composición y por ende su contaminación. Los principales contaminantes del agua, así como su fuente y efectos se presentan en tabla 2.1.

Tabla 2.1 Principales contaminantes del agua, fuentes y efectos.

CONTAMINANTE	FUENTE	EFECTOS PRINCIPALES
Microorganismos (bacterias, virus y protozoarios)	Procesos biológicos	Aunque se sabe que la mayoría de los microorganismos presentes en las aguas residuales son inofensivos, es posible encontrar microorganismos patógenos causantes de enfermedades tales como cólera, tifoidea, tuberculosis, hepatitis infecciosa y disentería.
Material sólido disuelto o en suspensión	Procesos industriales, agropecuarios, municipales, domésticos, de servicios y de comercio.	Sus efectos son variables dependiendo básicamente de su composición, algunos pueden ser tóxicos o simplemente ser de aspecto desagradable.
Material inorgánico (incluye cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, carbonatos y metales pesados como cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc).	Procesos industriales, agropecuarios, municipales, domésticos, de servicios y de comercio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pueden ser tóxicos para el ser humano, plantas y animales</li> <li>▪ Promueven el desarrollo de algas</li> <li>▪ Algunos son bioacumulables</li> <li>▪ Algunos causan necrosis vegetal</li> </ul>
Materia orgánica	Procesos biológicos, industriales y domésticos.	Promueven el desarrollo de microorganismos, algunos de los cuales son patógenos.

Fuente: Henry y Heinke (1999).

Además de estos contaminantes, resulta de interés la medición de la concentración de gases disueltos, en especial de oxígeno, y la concentración de iones de hidrógeno (pH).

En específico, los contaminantes sujetos a reporte según la normatividad vigente (tabla 2.3) se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Contaminantes del agua sujetos a reporte.

<b>CONTAMINANTES</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grasas y aceites (mg/l)</li> <li>• Materia flotante (presente o ausente)</li> <li>• Sólidos sedimentables (ml/l)</li> <li>• Sólidos suspendidos totales (mg/l)</li> <li>• Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)</li> <li>• Arsénico total (mg/l)</li> <li>• Cadmio (mg/l)</li> <li>• Cianuro (mg/l)</li> <li>• Cobre (mg/l)</li> <li>• Cromo hexavalente (mg/l)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fósforo total (mg/l)</li> <li>• Mercurio (mg/l)</li> <li>• Níquel (mg/l)</li> <li>• Nitrógeno (mg/l)</li> <li>• Plomo (mg/l)</li> <li>• Zinc (mg/l)</li> <li>• Coliformes fecales (NMP/100 ml)</li> <li>• Huevos de helmintos (organismos/l)</li> </ul>

### Marco regulatorio

A nivel federal, la contaminación de las aguas nacionales está regulada por la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley Federal de Derechos, de las que emanan las normas oficiales mexicanas que sobre esta materia existen (tabla 2.3).

### 2.1.2 Contaminación del aire

La principal causa que origina la contaminación del aire es la combustión dentro de la actividad industrial, comercial y doméstica y del transporte. Al generar calor, energía eléctrica o movimiento, el proceso de combustión emite grandes volúmenes de contaminantes. Otros procesos como la fundición y la producción de sustancias impactan severamente si se realizan sin control alguno.

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son contaminantes que se emiten directamente de una fuente, como son los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y partículas. Los secundarios son los que se originan en la atmósfera producto de diversas reacciones químicas, entre estos podemos mencionar al ozono (O<sub>3</sub>) y al peroxi acetil nitrilo (PAN). Es apropiado mencionar que cierto tipo de partículas tienen un origen secundario.

En la tabla 2.4 se presentan los principales contaminantes del aire, así como su fuente y efectos.



Tabla 2.3 Marco regulatorio en materia de contaminación del agua.

LEGISLACIÓN	DISPOSICIONES
Ley de Aguas Nacionales	<p>En el Título Séptimo de esta ley se hace referencia a la prevención y control de la contaminación de las aguas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el Art. 2 menciona que la Comisión Nacional del Agua determinará las condiciones particulares de descarga para un usuario determinado.</li> <li>▪ En su artículo 87 señala que la Comisión Nacional del Agua determinará los parámetros que deben cubrir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos puedan recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas.</li> <li>▪ El Art. 88 señala que el permiso de descarga de aguas residuales tiene que ser expedido por la Comisión Nacional del Agua.</li> </ul>
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El Art. 117 establece los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua.</li> <li>▪ El Art. 120 establece que tipo de descargas están sujetas a regulación federal.</li> <li>▪ El Art. 121 establece que no podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo de agua o suelo, aguas residuales que contengan contaminantes sin previo tratamiento, o a los sistemas de drenaje y alcantarillado.</li> <li>▪ El Art. 123 establece que todas las descargas de aguas residuales deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan.</li> <li>▪ El Art. 130 menciona que la autoridad ambiental podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales en aguas marinas, siempre y cuando no se viole lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas.</li> </ul>
Ley Federal de Derechos	<p>Esta ley establece los límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros, que son de cumplimiento alternativo a las condiciones particulares de descarga, pero exclusivamente para efectos fiscales. La legislación federal establece que debe pagarse por el uso del agua y a su vez, debe pagarse por la contaminación de la misma.</p>
Normas Oficiales Mexicanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua y bienes nacionales.</li> <li>▪ NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.</li> <li>▪ NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.</li> </ul>

Fuente: González y Montelongo (1999) e INE (2001b).

Tabla 2.4 Principales contaminantes del aire, fuentes y efectos.

CONTAMINANTE	FUENTE	EFFECTOS PRINCIPALES
Partículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión de carbón, diesel y combustóleo</li> <li>▪ Procesos industriales</li> <li>▪ Incendios</li> <li>▪ Erosión eólica</li> <li>▪ Erupciones volcánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irritación en las vías respiratorias</li> <li>▪ Su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y asbestosis</li> <li>▪ Agravan enfermedades como el asma y enfermedades cardiovasculares</li> <li>▪ Deterioran materiales de construcción</li> <li>▪ Disminuyen visibilidad</li> </ul>
Monóxido de carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión incompleta</li> <li>▪ Incendios</li> </ul>	Provoca cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión completa</li> <li>▪ Proceso de respiración</li> <li>▪ Descomposición microbiana</li> </ul>	Calentamiento global de la Tierra
Ozono (O <sub>3</sub> )	Reacción fotoquímica en el aire promovida por hidrocarburos y óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irritación de ojos y tracto respiratorio</li> <li>▪ Agrava enfermedades respiratorias y cardiovasculares</li> </ul>
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión a altas temperaturas</li> <li>▪ Presencia de nitrógeno en el combustible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irritación en tracto respiratorio (pulmones)</li> <li>▪ Destefimiento de pinturas</li> <li>▪ Caída prematura de hojas e inhibición del crecimiento</li> <li>▪ Disminución de visibilidad</li> </ul>
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión de combustibles que contienen azufre (carbón, diesel, combustóleo y gasolina con azufre)</li> <li>▪ Procesos industriales</li> <li>▪ Erupciones volcánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irritación de ojos y tracto respiratorio</li> <li>▪ Reduce funciones pulmonares</li> <li>▪ Agrava enfermedades como el asma, bronquitis crónica y el enfisema</li> <li>▪ Corroe metales, deteriora contactos eléctricos, papel, pintura y materiales de construcción</li> <li>▪ Provoca lesiones en las hojas y reducción en la actividad fotosintética</li> </ul>
Hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustión incompleta</li> <li>▪ Procesamiento, distribución y uso de compuestos derivados del petróleo (COVs)</li> <li>▪ Descomposición bacteriana anaerobia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trastornos en el sistema respiratorio</li> <li>▪ Algunos causan cáncer</li> </ul>

En la normatividad actual (tabla 2.5) solo se establece el reporte obligatorio de los siguientes contaminantes:

- Bióxido de azufre
- Óxidos de nitrógeno
- Partículas
- Hidrocarburos no quemados

- Monóxido de carbono
- Bióxido de carbono
- Compuestos orgánicos volátiles

*Marco regulatorio*

La legislación mexicana en cuestiones de contaminación atmosférica ha avanzado sustancialmente en los últimos años, dando soporte a una mejor gestión ambiental. En la tabla 2.5 se presenta un resumen del marco regulatorio en materia de contaminación del aire.

Tabla 2.5. Marco regulatorio en materia de contaminación del aire.

LEGISLACIÓN	DISPOSICIONES
<p>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</p>	<p>En el Capítulo Segundo del Título Cuarto de esta ley se hace referencia a la prevención y control de la contaminación atmosférica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el Art. 110 se establecen los criterios que deben tomarse en cuenta para la protección de la atmósfera.</li> <li>• El Art. 113 establece que no deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen desequilibrios ecológicos o daños al ambiente por lo que todas las emisiones deben de cumplir con lo que se establece en la LGEEPA, sus reglamentos y las normas oficiales mexicanas respectivas.</li> </ul>
<p>Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera</p>	<p>Este reglamento regula la contaminación atmosférica mediante la imposición de obligaciones tanto técnicas como administrativas a los propietarios de fuentes fijas, la emisión de normas oficiales mexicanas e instrumentos económicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El Art. 6 presenta la definición de una fuente fija y una móvil.</li> <li>• El Art. 18 establece la obligación para los responsables de fuentes fijas de obtener una licencia de funcionamiento.</li> <li>• El Art. 17 establece que los responsables de fuentes fijas deben integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, medirlas y registrar los resultados en el formato que determine la Secretaría. Asimismo, establece la obligación de llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control. Este artículo junto con el 23,24,26 y 27 establecen las obligaciones técnicas que deben de cumplir las fuentes fijas.</li> <li>• En su Art. 21 define a la Cédula de Operación Anual.</li> <li>• En el Art. 22 se establece que la SEMARNAP puede modificar en base a la información de la Cédula de Operación Anual los niveles máximos de emisión permitidos al otorgársele la licencia de funcionamiento.</li> <li>• El Art. 28 establece los niveles máximos permisibles de contaminantes atmosféricos para fuentes móviles.</li> <li>• El Art. 29 establece la obligación para los fabricantes de vehículos de asegurar que éstos no rebasen los límites establecidos en la normatividad mexicana.</li> </ul>

Tabla 2.5. Marco regulatorio en materia de contaminación del aire (continuación).

LEGISLACION	DISPOSICIONES
<p>Normas Oficiales Mexicanas</p>	<p>Las Normas Oficiales Mexicanas expedidas se agrupan en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Normas que establecen la calidad ambiental de las distintas áreas del territorio nacional con base a los criterios establecidos por la Secretaria de Salud.</li> <li>▪ Normas que establecen niveles máximos de contaminantes por fuente de contaminación (móvil o fija).</li> <li>▪ Normas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire.</li> <li>▪ Normas emitidas en coordinación con la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, que establecen valores máximos de contaminantes para vehículos en planta.</li> <li>▪ Normas que establecen las provisiones a las que deben de sujetarse las fuentes fijas que emitan contaminantes a la atmósfera, en casos de contingencias y emergencias ambientales.</li> </ul> <p>A continuación se mencionan las normas oficiales mexicanas aplicables a la industria en materia de contaminación atmosférica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NOM-039-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de SO<sub>2</sub> y neblinas de SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en plantas productoras de ácido sulfúrico.</li> <li>▪ NOM-040-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.</li> <li>▪ NOM-043-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.</li> <li>▪ NOM-046-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de SO<sub>2</sub>, neblinas de SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> provenientes de procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en fuentes fijas.</li> <li>▪ NOM-051-ECOL-1993. Que establece el contenido máximo permisible en peso de azufre en el combustible líquido (gasóleo) industrial que se consuma por las fuentes fijas en la zona metropolitana de la Ciudad de México.</li> <li>▪ NOM-075-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.</li> <li>▪ NOM-085-ECOL-1993. Que establece la emisión máxima permisible de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles, sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.</li> <li>▪ NOM-086-ECOL-1994. Que establece las especificaciones que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.</li> </ul>

Tabla 2.5. Marco regulatorio en materia de contaminación del aire (continuación).

LEGISLACION	DISPOSICIONES
Normas Oficiales Mexicanas (continuación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NOM-097-ECOL-1995. Que establece los límites máximos de emisión de partículas y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.</li> <li>▪ NOM-105-ECOL-1996. Que establece la emisión máxima permisible de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total, provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.</li> <li>▪ NOM-121-ECOL-1997. Que establece la emisión máxima permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.</li> <li>• NOM-123-ECOL-1998. Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en la fabricación de pinturas de secado al aire base solvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.</li> </ul>

Fuente: González y Montelongo (1999) e INE (2001c).

### 2.1.3 Contaminación del suelo

La principal fuente de contaminación del suelo la constituyen los residuos sólidos y peligrosos (LGEEPA, 1996). En este trabajo, resultan de interés los residuos peligrosos por ser de competencia federal y cuya principal fuente la constituye la industria.

La NOM-052-ECOL-1999 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listado de los residuos peligrosos y define a un residuo peligroso como todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (CRETIB) representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. En este sentido sus efectos están definidos según presenten alguna o algunas de estas características CRETIB.

El Programa para la Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000 (INE, 1997) clasifica a los residuos peligrosos industriales en: aguas de proceso, arenas, tierras, polvos, breas, cabezas, colas, carbón activado gastado, catalizadores gastados, disolventes, efluentes tratados, envases y empaques, escorias, líquidos residuales, lodos de proceso, lodos de tratamiento, materiales de relleno, sólidos residuales, soluciones gastadas, lubricantes gastados y residuos de proceso. En la tabla 2.6 se mencionan los residuos considerados como peligrosos por la normatividad actual.

Tabla 2.6 Residuos considerados como peligrosos por la normatividad vigente.

<b>CONTAMINANTES</b>	
<p><b>Aceites gastados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieléctricos</li> <li>• Lubricantes</li> <li>• Hidráulicos</li> <li>• Solubles</li> <li>• Templado de metales</li> </ul> <p><b>Breas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalíticas</li> <li>• De destilación</li> </ul> <p><b>Biológico-Infeciosos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetos punzocortantes</li> <li>• Residuos patológicos</li> <li>• Residuos no anatómicos</li> <li>• Sangre</li> </ul> <p><b>Escorias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Finas</li> <li>• Granulares</li> </ul> <p><b>Líquidos residuales de proceso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosivos</li> <li>• No corrosivos</li> </ul>	<p><b>Lodos aceitosos</b></p> <p>Lodos provenientes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanoplastia</li> <li>• Proceso de pinturas</li> <li>• Templado de metales</li> <li>• Tratamiento de aguas de proceso</li> <li>• Tratamiento de aguas negras</li> </ul> <p><b>Sólidos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telas, pieles o asbesto encapsulado</li> <li>• De mantenimiento automotriz</li> <li>• Con metales pesados</li> <li>• Tortas de filtrado</li> </ul> <p><b>Solventes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orgánicos</li> <li>• Organoclorados</li> </ul> <p><b>Sustancias corrosivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• álcalis</li> <li>• ácidos</li> </ul>

**Marco regulatorio**

El marco que define las regulaciones en materia de residuos peligrosos está señalado en la LGEEPA, en su reglamento correspondiente y en las normas oficiales mexicanas respectivas según se presenta en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Marco regulatorio en materia de residuos peligrosos.

LEGISLACIÓN	DISPOSICIONES
<p>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El Art. 5 establece que es asunto de la nación la regulación de las actividades relacionadas con materiales o residuos peligrosos.</li> <li>▪ El Art. 8 menciona que la Secretaría tiene la obligación de proponer al Ejecutivo Federal las disposiciones que regulen las actividades relacionadas con materiales y residuos peligrosos, en coordinación con la Secretaría de Salud.</li> <li>▪ El Art. 29 señala que a la Secretaría le corresponde evaluar el impacto ambiental causado por las instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como de los residuos radioactivos.</li> <li>▪ El Art. 150 señala que la Secretaría, previa la opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Gobernación, determinará y publicará en el Diario Oficial de la Federación los listados de materiales y residuos peligrosos para efecto de lo establecido en la LGEEPA.</li> <li>▪ El Art. 151 menciona que se requiere de la autorización de la Secretaría para la instalación y operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos.</li> <li>▪ El Art. 152 establece que los materiales y residuos que se definan como peligrosos para el equilibrio ecológico deberán ser manejados con arreglo a las normas técnicas ecológicas y procedimientos que establezca la Secretaría, con la participación de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y de Agricultura y Recursos Hidráulicos.</li> <li>▪ El Art. 153 señala que la importación o exportación de materiales o residuos peligrosos se sujetará a las restricciones que establezca el Ejecutivo Federal.</li> </ul>
<p>Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos</p>	<p>Este reglamento tiene como funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar y publicar en el Diario Oficial de la Federación los listados de residuos peligrosos; así como sus autorizaciones en los términos de Ley.</li> <li>▪ Expedir las normas oficiales mexicanas y procedimientos para el manejo de los residuos peligrosos, con la participación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Agricultura y Recursos Hidráulicos.</li> <li>▪ Controlar el manejo de residuos peligrosos que se generan en las operaciones y procesos de extracción, consumo, beneficio, transformación, producción, utilización y de servicios.</li> <li>▪ Autorizar la instalación y operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, recolección, incineración y disposición final de los residuos peligrosos.</li> <li>▪ Evaluar el impacto ambiental de los proyectos de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos.</li> <li>▪ Autorizar la importación y exportación de residuos peligrosos, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes.</li> </ul>

Tabla 2.7 Marco regulatorio en materia de residuos peligrosos (continuación).

LEGISLACIÓN	DISPOSICIONES
<p>Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (continuación)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fomentar y coadyuvar al establecimiento de plantas de tratamiento y disciplinas de comercialización; así como de empresas que establezcan plantas de reciclaje de residuos peligrosos.</li> <li>▪ Establecer y mantener actualizado un sistema de información sobre la generación de los residuos peligrosos.</li> <li>▪ Fomentar que las asociaciones y colegios de profesionales, cámaras industriales y de comercio y otros organismos afines, promuevan actividades que orienten a sus miembros en materia de prevención y control de la contaminación ambiental originada por el manejo de los residuos peligrosos.</li> <li>▪ Promover la participación social en el control de los residuos peligrosos.</li> <li>▪ Fomentar en el sector productivo y promover ante las autoridades competentes el uso de tecnologías que reduzcan la generación de residuos peligrosos.</li> <li>▪ Fomentar en el sector productivo y promover ante las autoridades competentes el desarrollo de actividades y procedimientos que coadyuven a un manejo seguro de los residuos peligrosos.</li> <li>▪ Otorgar licencias de uso del suelo.</li> <li>▪ Evaluar el impacto ambiental de las estaciones de transferencia.</li> </ul>
<p>Normas Oficiales Mexicanas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NOM-052-ECOL-93. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.</li> <li>▪ NOM-053-ECOL-93. Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso.</li> <li>▪ NOM-054-ECOL-93. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL-93.</li> <li>▪ NOM-055-ECOL-93. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos excepto de los radioactivos.</li> <li>▪ NOM-056-ECOL-93. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.</li> <li>▪ NOM-057-ECOL-93. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.</li> <li>▪ NOM-058-ECOL-93. Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.</li> </ul>

Fuente: González y Montelongo (1999), INE (2001d).



## 2.2 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Se define como gestión ambiental a la aplicación de todos aquellos instrumentos técnicos, legales y administrativos enfocados a alcanzar un desarrollo sustentable. El enfoque actual de la gestión ambiental industrial en el país se inclina hacia la creación de instrumentos que orienten las decisiones de inversión de las empresas hacia medidas preventivas antes de medidas correctivas, que atiendan los efectos ambientales en forma diferenciada sobre cada ecosistema, promoviendo a su vez instrumentos voluntarios que permitan una protección ambiental más allá del cumplimiento de la normatividad estimulando a las empresas hacia una producción más limpia (PROFEPA/SEMARNAP, 2000).

La creación de estos instrumentos no sólo responde a las necesidades nacionales sino también a los compromisos internacionales que México ha ido adquiriendo como parte de su participación mundial para lograr consolidar el proceso de un desarrollo sustentable.

### 2.2.1 Acuerdos y convenios internacionales

Es claro que el tratamiento eficaz de los problemas globales del ambiente requiere el concurso de todos los países, a través de instrumentos jurídicamente vinculantes. A continuación se mencionan los acuerdos y convenios que están relacionados con el desarrollo de registros de emisión y en los cuales México es participe.

#### *Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal*

Este Convenio, que fue firmado en Viena el 22 de marzo de 1985 y ratificado por México el 22 de diciembre de 1987, tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos del adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico. Complementa a este convenio el Protocolo de Montreal aprobado por México en enero de 1988. En este Protocolo se establecen algunas reglas con objeto de poner en aplicación las disposiciones del Convenio de Viena, principalmente a través de las medidas de control que consisten en reducir de manera progresiva el nivel de consumo de las sustancias que deterioran la capa de ozono (González y Montelongo, 1999).

#### *Agenda XXI*

México participó en la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992, donde se derivaron acuerdos y compromisos internacionales enfocados a revertir las tendencias actuales de deterioro ambiental y sentar las bases para un desarrollo sustentable. Los acuerdos de esta reunión se compilan en el documento denominado Agenda XXI (CNUMAD, 1992), en la que destaca el capítulo 19 referente a la Gestión Ecológicamente Racional de los Productos Químicos Tóxicos referido a:

- Que los gobiernos y agencias internacionales en colaboración con la industria mejoren sus bases de datos y sistemas de información de sustancias tóxicas, así como sus inventarios de emisión de contaminantes.

- Que los gobiernos consideren la implementación del derecho de la comunidad a ser informada u otros programas de difusión pública de información ambiental como posibles instrumentos para la reducción de riesgos.
- Recomienda tomar en cuenta los siguientes elementos básicos al establecer un sistema nacional para la gestión de sustancias químicas: una legislación adecuada, disposición para aplicar y vigilar el cumplimiento de la ley, recopilación de datos y difusión de la información ambiental, capacidad de evaluar e interpretar riesgos, instauración de una política de gestión de riesgo, habilidad para rehabilitar sitios contaminados y personas envenenadas, programas efectivos de educación y capacidad de responder a emergencias. Todos los países presentes en Río acordaron que dichos sistemas deberán implementarse antes del año 2000.

Aunque Agenda 21 no es jurídicamente obligatoria, se espera que los gobiernos asuman un serio compromiso para su aplicación.

#### *Convención Marco sobre el Cambio Climático*

El 13 de junio de 1992 en el marco de la CNUMAD se firmó la Convención Marco sobre el Cambio Climático, aprobada por el Senado Mexicano el 3 de diciembre del mismo año. La finalidad de la Convención fue el establecer un compromiso entre los diferentes países participantes para frenar el cambio climático global, mediante una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, de tal suerte que sus concentraciones lleguen a un nivel de estabilización que impidan interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. En este contexto, México se ha comprometido a elaborar y actualizar inventarios nacionales de emisiones derivadas de las diversas fuentes y sumideros de absorción de estos gases (González y Montelongo, 1999).

#### *Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)*

Desde el inicio de las negociaciones que dieron origen al TLCAN, los temas ambientales ocuparon un lugar predominante, de aquí la creación del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) como documento paralelo al propio tratado. Una de las consecuencias más importantes del acuerdo es la creación de la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA), en julio de 1994, como instancia encargada de supervisar su aplicación, constituyendo un foro de discusión trilateral de asuntos ambientales (González y Montelongo, 1999).

La CCA ha adoptado una serie de compromisos relativos a la reducción de riesgos ambientales. En particular, destaca el desarrollo de la cooperación regional en lo que respecta al manejo racional, a lo largo de todo su ciclo de vida, de productos químicos que constituyen una preocupación común, y el establecimiento de un Inventario Norteamericano de Emisiones Contaminantes (NAPRI, del inglés *North American Pollutant Release Inventory*), el cual forma parte de las actividades de la CCA para proveer al público con información actualizada acerca de los registros de emisión y riesgos de sustancias contaminantes de los tres países.

### *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)*

México se integró a la OCDE en mayo de 1994 abriéndose con ello una amplia perspectiva de cooperación en materia ambiental. La orientación del trabajo desarrollado en esta materia está definida por el Acuerdo de los Ministros del Ambiente celebrado en 1991 y conocido como *OECD Environmental Strategy for the 1990's*. En éste, se hace un llamado para la reducción de la contaminación como una de sus principales metas para los 90's. Cuidando que el enfoque de prevención de la contaminación fuese la clave de este esfuerzo y basados en instrumentos de mercado. El Grupo de Control y Prevención de la Contaminación de la OCDE emprendió un esfuerzo que apuntó a acelerar la prevención y reducción de la contaminación a través de mecanismos examinadores que compilen y publiquen los datos acerca de emisiones y transferencia de contaminantes.

Por otro lado, la OCDE emitió en febrero de 1996 la recomendación, a los países miembros, para la implementación de Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, mediante la resolución C(96)41/FINAL. Dichos registros deberán estar fundamentados en los principios apuntados por el *Documento Guía para los Gobiernos* emitido por la OCDE y el *Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals* (INE/UNITAR, 1997).

### *Programa Mundial de Acción para la Protección del Ambiente Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra*

En noviembre de 1995 este programa fue acordado en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En éste los países se comprometen a proteger y preservar al ambiente marino mediante la implementación de acciones para reducir los impactos debido a las actividades terrestres, especialmente los relacionados con aguas residuales, contaminantes orgánicos persistentes, sustancias radioactivas, metales pesados, hidrocarburos, nutrientes, sedimentos, basura y alteración física del hábitat (INE/UNITAR, 1997).

Con el fin de establecer un programa nacional para la evaluación y control de fuentes terrestres de contaminación al mar, el Programa Mundial de Acción contempla los siguientes elementos:

- Identificar el origen y problemática derivada de los contaminantes emitidos al ambiente cuyo destino final es el mar, como son: aguas domésticas, compuestos orgánicos persistentes, metales pesados, hidrocarburos, nutrientes, sedimentos y basura.
- Elaborar inventarios que permitan establecer las fuentes puntuales de degradación del mar, como son: plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas industriales, descargas de aguas municipales, plantas para la generación de electricidad, instalaciones turísticas, acuicultura, modificación de hábitat (llenado de humedales, tala de manglares), introducción de especies exóticas.
- Considerar y establecer la magnitud de la contaminación derivada de fuentes no puntuales, como son escurrimientos urbanos, escurrimientos de actividades agrícolas, forestales, mineras y de la construcción.

- Determinar el tipo y concentración de contaminantes emitidos a la atmósfera debido al transporte (emisiones de vehículos), industrias, incineradores y actividades agrícolas.
- Difundir la información generada a nivel regional estatal y nacional con el fin de apoyar el desarrollo de acciones preventivas y correctivas, que se reflejen en un mejoramiento del ambiente en general.

*Convenio de Cartagena para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe.*

Este convenio fue adoptado en la Ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, el 11 de febrero de 1985 y entró en vigor el 11 de octubre de 1986. El convenio es un acuerdo marco para la protección y el desarrollo del medio marino. En él se enumeran las fuentes de contaminación que requieren control: la causada por buques, por vertimientos, procedente de fuentes terrestres, la resultante de actividades relativas a los fondos marinos y la transmitida por la atmósfera. Con la ratificación del convenio las partes contratantes adoptan obligaciones respecto del control de la contaminación causada por las fuentes determinadas (INE/UNITAR, 1997).

*Programa Frontera XXI*

Los antecedentes de este programa se remontan al Convenio de la Paz ó Convenio Ambiental Fronterizo, el cual fue firmado por México y Estados Unidos en 1983 en la Cd. de la Paz, Baja California del Sur. Este documento estableció un marco de cooperación entre ambos países para prevenir, reducir y eliminar las fuentes de contaminación de agua, aire y suelos en una zona que se extiende 100 km a cada lado de la línea fronteriza. En 1992 las autoridades ambientales de ambos países formularon el Plan Integral Ambiental Fronterizo (PIAF), el cual constituyó un punto de partida para orientar las acciones de protección ambiental en la zona fronteriza.

Una de las múltiples acciones programadas fue precisamente la instrumentación del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) a nivel nacional (INE/UNITAR, 1997).

### **2.2.2 Registro de emisión y transferencia de contaminantes (RETC)**

El RETC es un inventario nacional donde se compila información acerca de las emisiones y transferencia de 178 contaminantes al aire, agua y suelo, detallado por especie química, por tipo de establecimiento, sector económico y región geográfica. Dentro de las principales fuentes de información para este registro se encuentra la Cédula de Operación Anual (COA), los registros de residuos peligrosos proporcionados por la Dirección General de Residuos Peligrosos del Instituto Nacional de Ecología (INE) y registros de descargas de aguas residuales por parte de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

De esta forma, el RETC constituye un instrumento de recopilación, integración y difusión de información sobre las sustancias emitidas al ambiente o transferidas a sistemas de tratamiento o disposición, y que pueden estar ocasionando un impacto significativo sobre la salud humana y la de los ecosistemas.

En 1994, el Grupo Nacional Coordinador del RETC, integrado por 38 organizaciones académicas, gubernamentales, industriales y de la sociedad civil, inició su trabajo para diseñar la instrumentación técnica, administrativa y jurídica del RETC, contando con el apoyo del Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional y la Investigación (UNITAR), que seleccionó a México como proyecto piloto sobre la base de recomendaciones emanadas de la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD).

De dicho trabajo se derivó la Propuesta Ejecutiva Nacional (INE/UNITAR, 1997), que describe los elementos necesarios para la instrumentación legal del RETC, el desarrollo de la lista de sustancias sujetas a reporte, el desarrollo del formato, así como la política de estimación de emisiones de fuentes no sujetas a reporte, la comunicación y difusión de los datos, la asesoría y capacitación a las industrias sujetas a reporte, aspectos de autorregulación industrial y, finalmente las actividades, responsabilidades y costos de inversión para un primer ciclo de reporte.

#### *Selección de las sustancias incluidas en el RETC*

La selección de las sustancias sujetas a reporte se basó en primera instancia en las sustancias contaminantes consideradas por las Normas Oficiales Mexicanas, que establecen máximos permisibles de generación de contaminantes descargados a la atmósfera, al agua o como componentes de residuos peligrosos. En forma paralela se identificaron los listados representativos de registros equivalentes al RETC operados en otros países como lo son el *National Pollutant Release Inventory (NPRI)* de Canadá, el *Toxics Release Inventory (TRI)* de los Estados Unidos de América y el *Swedish Sunset Project for Chemicals (KEMI report)* creado por la Agencia Nacional Sueca de Químicos, con éstos se creó una lista consolidada de 409 sustancias.

Como un criterio adicional para determinar la lista definitiva de las sustancias sujetas a reporte se empleo el Sistema de Evaluación de Contaminantes Ambientales (*Ontario Ministry of the Environment Scoring System, MOE*), que considera aspectos de persistencia ambiental<sup>1</sup>, bioacumulación<sup>2</sup> y toxicidad<sup>3</sup> y sobre su base se definió una lista de 178 sustancias.

#### *Fundamento Legal*

El RETC se fundamenta en los preceptos contenidos en el Programa de Medio Ambiente 1995-2000 y en las atribuciones que le concede a la SEMARNAT la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

El 13 de diciembre de 1996 fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación las reformas realizadas en la LGEEPA por el Congreso de la Unión para plasmar en ésta las orientaciones y los principios de una nueva política ambiental, fundada en el desarrollo

<sup>1</sup> Característica de ciertas sustancias de permanecer en el ambiente, debido a su resistencia a la degradación química o biológica asociada a los procesos naturales.

<sup>2</sup> Tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de organismos vivos.

<sup>3</sup> Dividida en siete características que incluyen efectos letales, crónicos y subcrónicos sobre fauna y principalmente sobre la salud humana.

sustentable. En particular, el RETC incide con los siguientes propósitos de dichas reformas:

- Establecer un proceso de descentralización ordenado, efectivo y gradual de la administración, ejecución y vigilancia ambiental a favor de las autoridades locales.
- Ampliar los márgenes legales de participación ciudadana en la gestión ambiental, a través de mecanismos como la denuncia popular, el acceso a la información ambiental y la posibilidad de impugnar por medios jurídicos los actos que dañen el ambiente en contravención de la normatividad vigente.
- Fortalecer y enriquecer los instrumentos de política ambiental para que cumplan eficazmente con su finalidad.
- De estas reformas, con relación a estrategias de regulación de emisiones de contaminantes y la instrumentación del RETC, destaca el artículo 109 Bis que expresa: *la Secretaría, en los términos que señalen los reglamentos de esta Ley, deberá integrar un inventario de emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales en cuerpos receptores federales o que se infiltren al subsuelo, materiales y residuos peligrosos de su competencia, coordinar los registros que establezca la Ley y crear un sistema consolidado de información basado en las autorizaciones, licencias o permisos que en la materia deberán otorgarse.*

#### *Alcances del RETC*

El RETC tiene como objetivo principal integrar un inventario nacional de emisiones y transferencia de contaminantes, una vez integrado este registro permitirá cubrir las siguientes expectativas:

- Proveer una base de información confiable y actualizada sobre la emisión y transferencia de contaminantes específicos en los diferentes medios (aire, agua y suelo), que ayude en la toma de decisiones y a la formulación de políticas ambientales en México.
- Simplificar y racionalizar la recolección de información relativa a la emisión y transferencia de contaminantes específicos a los diferentes medios (agua, aire y suelo), así como los requisitos de reporte a los que se somete la industria.
- Constituir un elemento adicional para la toma de decisiones propias de las empresas, complementario a sus propios sistemas y prioridades de gestión ambiental.
- Permitir el seguimiento y cuantificación de los avances en el abatimiento de emisiones y descargas contaminantes a los distintos medios (aire, agua y suelo).
- Proporcionar información sobre las emisiones de sustancias que representen riesgos para la salud y el ambiente, y apoyar los mecanismos que faciliten la evaluación, manejo y comunicación de dichos riesgos.
- Generar un sistema de información sobre emisiones y transferencia de contaminantes que sirva para la elaboración de reportes con información accesible y disponible al público en general.
- Generar un instrumento que sirva de base para que México cumpla con sus obligaciones internacionales de información ambiental.

*Primer Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes 1997-1998*

La Dirección General de Gestión e Información Ambiental del Instituto Nacional de Ecología se encargó de integrar el Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (INE, 1999a) con información generada en 1997 y reportada en 1998 en Cédulas de Operación Anual (COAs), reportes de descargas de aguas residuales de la CNA y reportes en materia de residuos peligrosos por parte de la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

Con relación a las COAs, reporte obligatorio para industrias de jurisdicción federal (INE, 1999b), durante el ciclo de reporte 1997-1998 se recibieron 2,653 formatos a nivel nacional. No obstante, por problemas de diversa índole como reportes incompletos, entrega de formatos antiguos, reportes mal llenados, etc. solo se procesaron 1,129 cédulas.

Los resultados de este informe evidencian que en cuanto a cumplimiento de entrega de la COA la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es la que muestra mayor respuesta a este reporte, dado que es la ciudad con mayor número de establecimientos industriales y donde se ha hecho la mayor campaña de difusión de la COA y del RETC. Por su parte, la industria química, a nivel nacional, es el que participa con mayor número de COAs entregadas.

Los datos acerca de la descarga de aguas residuales municipales y no municipales fue proporcionada por la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de la Comisión Nacional de Agua. En éstos se refleja que el mayor volumen de descarga corresponde a los estados de Veracruz, D.F. y Estado de México.

El Programa para la Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000 (INE, 1997), proporcionó la información para integrar el registro de emisiones y transferencia en cuanto a residuos peligrosos se refiere. Esta información evidencia que tanto el Distrito Federal como el Estado de México aportan la mayor cantidad de residuos industriales a nivel nacional. Así mismo, de manera conjunta la Zona Norte y la Zona Centro del país generan casi el 90% de los residuos peligrosos del país.

Con relación a los gases de efecto invernadero este primer informe presenta una tabla que resume la información del inventario nacional de gases de invernadero, 1995. Los gases considerados son bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y compuestos orgánicos volátiles no metano (COVNM). Las principales emisiones corresponden a la utilización de combustibles, agricultura y emisiones volátiles generadas por la producción de aceites y gasolina.

### 2.2.3 Cédula de operación anual (COA)

La COA es un formato de reporte anual a través del cual se recopila la información a cerca de los contaminantes emitidos al aire, agua y suelo, por parte de las industrias de jurisdicción federal. La entrega de la información de un año calendario se realiza en el primer cuatrimestre del año siguiente, de acuerdo al formato y calendario fijado por la autoridad ambiental, y es a nivel de establecimiento industrial. Esta información permite actualizar el conocimiento sobre la operación del establecimiento, así como su seguimiento por parte de la autoridad ambiental.

#### *Formato de reporte*

El formato fue elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en seguimiento a la Propuesta Ejecutiva Nacional del RETC y con la colaboración del Grupo de Trabajo del Convenio de Protección Ambiental y Competitividad Industrial firmado el 25 de julio de 1995 por la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y la Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN).

El desarrollo del formato incluyó la revisión e integración de los diferentes trámites obligatorios en materia de residuos peligrosos, contaminación atmosférica y contaminación del agua, para los establecimientos industriales (Joffre et. al., 1999). Éstos son:

- Formato de solicitud de Licencia de Funcionamiento (LF-CO)
- Manifiesto de Impacto Ambiental General
- Registro de descarga de aguas residuales
- Reporte mensual de generación de residuos peligrosos
- Formato RETC

Con esta información se elaboró el formato de la COA constituido por cinco secciones específicas:

- Sección I Información técnica general
- Sección II Contaminación atmosférica
- Sección III Aprovechamiento de agua y descarga de aguas residuales
- Sección IV Generación, tratamiento y transferencia de residuos peligrosos
- Sección V Emisiones y transferencia anual de sustancias listadas.

La sección I y II son de carácter obligatorio para toda la industria de jurisdicción federal. La sección III es en la actualidad de carácter voluntario, al igual que la sección IV, mientras que el reporte de la información contenida en la sección de emisiones y transferencia anual de sustancias listadas será de carácter voluntario en tanto no se expida la normatividad correspondiente.

El primer formato - COA 1997- fue empleado en 1998 por los industriales, reportando las actividades del año calendario anterior, 1997. La información reportada durante este ciclo fue evaluada por Joffre et. al. (1999) quienes determinaron las bondades y defectos del



formato. Sobre la base de este trabajo se realizaron modificaciones al mismo, tomando en cuenta las dificultades que el sector industrial había tenido para su llenado y haciendo una evaluación estadística de los principales errores que se cometían. Producto de esta evaluación fue el Formato COA 1998.

A la fecha se cuenta con un programa computarizado de captura de la COA desarrollado por la Dirección de Gestión Ambiental del INE en 1999. El propósito del programa es proveer a la industria de un sistema que facilite la captura de los datos y su subsecuente integración, así como disminuir las omisiones y errores más frecuentes que se presentan en el llenado de la cédula. Éste puede ser obtenido de la siguiente página *web*: <http://www.ine.gob.mx/dggia/retc/coa/index.html>

### *Fundamento legal*

La COA encuentra su fundamento legal en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en los Artículos 4, 5, 7, 8, 9, 111 Bis, 112, 113, 122, 139, 151, 157, 159, 159 Bis, 159 Bis-3, y en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (RPCCA) en los artículos 7, 10, 11, 17, 18, 19 y 21. Debido a su carácter multimedios se encuentra apoyada por los siguientes instrumentos jurídicos:

- Ley de Aguas Nacionales (LAN). Artículos 3, 4, 9, 15, 29, 85, 86, 87, 89, 92. (D.O.F. 1-XII-1992)
- Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (RISMA.). Artículos 54, 58 y 59. (D.O.F. 08-VII-1996)
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RAN). Artículos 133, 135, 136, 138, 139 y 154. (D.O.F. 12-I-1994)
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (RRP). Artículos 4 y 8. (D.O.F. 25-XI-1998)
- Acuerdos y avisos publicados en el Diario Oficial y mediante los cuales se establece el reporte de la COA como obligatorio (D.O.F. 11-IV-1997, D.O.F. 18-VIII-1997, D.O.F. 9-IV-1998 y D.O.F. 18-I-1999). En específico, el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de abril de 1998 establece la obligatoriedad del reporte de cada una de las secciones.

### *La COA como herramienta de prevención de la contaminación*

La información de la Cédula de Operación Anual, además de su función como un insumo fundamental para el diseño y seguimiento de políticas y estrategias de gestión, es un instrumento de gestión y una eficaz herramienta de prevención de la contaminación para los usuarios. En este sentido, la estructura de la cédula debe considerarse como un instrumento que proporciona diferentes niveles de agregación de la información, hasta convertirse en una herramienta de gestión integral para la empresa.

El diagrama de funcionamiento que se solicita en la COA es el elemento clave, ya que permite enlazar la información de las diferentes secciones, haciéndolas corresponder unívocamente con un punto de generación o emisión del diagrama. Es importante precisar que dicho diagrama sólo guarda un parentesco formal con el diagrama de flujo de proceso

de la empresa, ya que su objeto no es establecer la secuencia de transformaciones de las materias primas hasta convertirse en productos terminados, sino identificar con precisión las áreas, actividades y equipos que generan o emiten contaminantes al ambiente. Debe considerarse propiamente como un diagrama de puntos de generación o emisión de contaminantes.

- a) El diagrama de funcionamiento identifica los puntos de generación o emisión y establece directamente y con precisión las áreas de oportunidad para actividades de prevención y control de la contaminación.
- b) Las secciones de reporte II, III, IV, y V, permiten identificar los diferentes tipos de contaminantes, (detallados hasta el nivel de especie química en la sección V), así como las cantidades de cada uno de ellos que se emiten o transfieren a los diferentes medios, vinculando a la vez esta información con cada uno de los puntos de generación y emisión.
- c) Con lo anterior se dispone de información para establecer prioridades, bajo criterios de costo/beneficio, para la asignación de recursos a actividades de prevención de la contaminación. Sobre esta base, la empresa puede proceder, sección por sección, a analizar las corrientes de entrada y salida, para aplicar una o más estrategias o acciones para reducir la generación de contaminantes, pudiendo seleccionar entre:
  - Administrar más eficientemente los inventarios, para evitar el desperdicio de materias primas.
  - Mejorar prácticas de manufactura y los programas de mantenimiento preventivo de los equipos para reducir la contaminación por fugas, pérdidas y por simple descuido.
  - Implantar prácticas de ahorro de energía, para reducir emisiones y consumo de combustibles fósiles.
  - Implantar prácticas de ahorro de agua, que ya no es considerada un recurso gratuito e inagotable.
  - Realizar modificaciones menores a los procesos, procurando la minimización de los residuos y otras emisiones.
  - Optimizar el reciclado de materiales y procurar la utilización alternativa de subproductos y residuos.
  - Buscar la sustitución de materias primas o insumos por productos menos contaminantes o por materiales reciclables.
  - Identificar la tecnología necesaria para solucionar problemas específicos, o para la modernización eventual de la planta productiva.
- d) La sección V de la COA, contiene un apartado para el seguimiento de estas actividades, la cual manifiesta todo su valor al constituirse, año tras año, en un registro de los progresos obtenidos en la reducción de contaminantes, vinculándolos con las inversiones realizadas y los ahorros obtenidos.
- e) La estructura de la COA también es compatible con la filosofía de los Sistemas de Administración Ambiental, ya que los puntos de generación o emisión pueden correlacionarse con los roles, las responsabilidades, los conocimientos, aptitudes y habilidades, y demás aspectos que un sistema de esta naturaleza exige para los responsables directos e indirectos de las áreas en cuestión.

Por todo esto y dado el enfoque multimédios de la Cédula, del análisis de la misma se podrán derivar prioridades en materia del uso de tecnologías limpias y la detección de problemas ambientales específicos ocasionados por la transferencia entre medios de los contaminantes. Ello permitirá ampliar el concepto de lo que actualmente se conoce como tecnologías de control ambiental para abarcar también la sustitución de materias primas y sustancias peligrosas, el cambio o modernización de procesos, la racionalización del uso del agua y energía, la utilización de mejores combustibles y el reciclaje de residuos o subproductos. La Cédula permitirá avanzar en esta dirección al reflejar los costos y los beneficios asociados al desempeño ambiental y las posibles alternativas para modificar conductas o prácticas contaminantes.

La COA es una herramienta básica de gestión ambiental para que a diferentes niveles (establecimientos industriales, gobiernos municipales, estatales y federal) puedan emprenderse acciones de:

- Cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Evaluación y comunicación de riesgos ambientales.
- Prevención de la contaminación y reducción de residuos en la fuente y a lo largo del proceso.
- Control de la contaminación del aire.
- Administración de cuencas hidrológicas.
- Planes de acción para reducción de gases invernadero en cumplimiento a la Convención sobre Cambio Climático.
- Prevención de riesgos químicos.
- Programas de difusión pública sobre niveles de cumplimiento normativo y desempeño ambiental de los establecimientos y acceso público a la información ambiental.
- Administración ambiental y certificación.

Lo mencionado en el apartado anterior ratifica la importancia que tiene la COA como instrumento de integración de información referente a los contaminantes que son emitidos por la industria en México, así como por proporcionar los datos para la elaboración del RETC, cuyos beneficios en cuanto al establecimiento de políticas y estrategias encaminadas a mejorar la calidad del ambiente y para dar cumplimiento a convenios y acuerdos internacionales ya fueron mencionadas.

Sin embargo, después de cubiertos tres ciclos de reporte de la COA estos objetivos no han sido alcanzados en su totalidad, debido a que el empleo de estos instrumentos (COA y RETC) se ha visto limitado por la información reportada por los industriales, posiblemente por la falta de incentivos a gerentes y directivos para preparar el reporte de manera completa, debido al carácter voluntario de gran parte de la información de interés, y por el predominio de respuestas incompletas o inadecuadas en los reportes.

Lo anterior es producto, en parte, de la inexistencia de un sistema que detecte y analice los principales errores en el llenado de cada COA entregada, y evalúe la calidad de su información, con la finalidad de informar al industrial sobre estos aspectos y mejorar su llenado en años subsecuentes.

## CAPÍTULO III

### MANEJO DE INFORMACIÓN

Para que el conocimiento sea aplicado, en la mayoría de las ocasiones, tiene que ser traducido a un lenguaje que permita su acceso y difusión, denominándose entonces *información*. En términos generales, el conocimiento se expresa en datos los cuales son procesados a fin de obtener un producto, *la información*. Dependiendo de la información requerida será el tipo de procesamiento realizado.

#### 3.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Para toda organización es imprescindible el contar con una fuente de información que permita tomar decisiones de una forma objetiva e inmediata. Esta fuente de información se conoce como sistema de información (SI), definido como un conjunto de procedimientos organizados que, cuando son ejecutados, proveen de información para la toma de decisiones, comunicación y/o control de una organización (Lucas, 1992).

Burch y Grudnitski (1986) mencionan que existen dos principales componentes que definen a un SI: bloques de construcción y variables de diseño que precisamente impactan sobre éstos.

##### Bloques de construcción

Todos los sistemas de información están conformados por seis bloques de: entrada, modelos, salida, tecnología, base de datos y control. Estos bloques pueden tomar diferentes formas, valores y contenido según el objetivo para el cual son creados.

##### a) Bloque de entrada

El bloque de entrada representa todos los datos, texto, voz e imágenes que entran al SI, y los métodos y medios por los cuales éstos son introducidos. El bloque de entrada consiste de transacciones o eventos, solicitudes, instrucciones, preguntas y mensajes. Generalmente, las entradas siguen un protocolo y formato propio para el contenido, identificación, autorización, diseño y procesamiento del sistema. Las entradas pueden estar hechas por medio de letras, formas de trabajo, reconocimiento de características físicas tales como la geometría de la mano o huella digital, voz, sensores de tacto, caracteres y códigos magnéticos u ópticos.

##### b) Bloque de modelos

Este bloque consiste de una combinación de modelos matemáticos, lógicos o de procedimiento que manipulan las entradas y el almacenamiento de datos en una gran variedad de formas para producir el resultado deseado o salida. Un modelo de procedimiento puede tomar una transacción y actualizar un archivo. Un modelo lógico

puede combinar ciertos datos para dar una respuesta apropiada a una pregunta, o puede reducir o agregar volúmenes de datos dentro de un reporte. Un modelo matemático puede ser tan simple como:  $\text{ingreso} = \text{ganancia} - \text{gastos}$ , o puede incorporar decenas de variables para optimizar una función.

Un modelo puede contener reglas de decisión, tomar decisiones programadas, simular inteligencia y proveer de respuestas expertas a diferentes niveles en la toma de decisiones. En esencia, los modelos llevan al cabo transacciones, representan operaciones y transforman los datos de entrada en información de calidad.

#### c) Bloque de salida

El producto del SI es una salida, es decir, información de calidad que permite elegir cursos concretos de acción (Begoña, 1989). Con frecuencia las salidas y las entradas son recursivas, una salida se vuelve una entrada y una entrada se vuelve una salida. Una salida puede consistir de reglas de decisión, escenarios y simulación para la toma de decisiones, mensajes, comandos, respuestas a preguntas realizadas, etc. Una salida puede ser producida sobre una pantalla, impresora, equipos de audio o microfilms.

#### d) Bloque de tecnología

Esta es la parte del SI que captura las entradas, maneja los modelos, almacena y accesa datos, produce y transmite las salidas y ayuda al control del sistema. La tecnología consiste de tres principales componentes: técnicos y programadores, programas o software y equipo o hardware. Los técnicos y programadores son las personas que conocen la tecnología y sirven de intermediarios entre el usuario y el sistema de información para que éste funcione. El software representa a los programas que permiten que el sistema de información funcione y contiene la información sobre los modelos, entradas y salidas. El hardware consiste de una variedad de equipo que provee el soporte físico para los otros bloques de construcción.

#### e) Bloque de base de datos

La base de datos está constituida por un conjunto de datos almacenados necesarios para el funcionamiento del sistema. Los datos pueden ser una combinación de voces, imágenes, texto o números. En general, la base de datos es tratada desde dos puntos de vista: base de datos física y base de datos lógica. La base de datos física esta constituida del medio de almacenamiento de los datos, tales como cassettes, discos, tarjetas magnéticas, chips o microfilms. La parte lógica de la base es la que permite buscar, asociar y recuperar estos datos cuando se requiere información específica. Esta parte se asocia con los programas o software del sistema e incluye las técnicas asociativas de datos tales como índices, directorios, listas, códigos y claves, redes y arboles.

#### f) Bloque de control

Los mecanismos de control pueden consistir en la instalación de un sistema de administración de registros, el desarrollo de un plan maestro, la creación de un plan de contingencia, la implementación de monitores del software y del hardware,

instalación de fuentes de poder ininterrumpibles y sistemas contra incendios, entre otros. Este bloque es importante para asegurar la protección, integridad y operación del sistema.

### Variables de diseño

Las variables de diseño son las que definen las características específicas de los bloques de construcción, es decir, determinan su forma, valor y contenido en base al objetivo del sistema de información. Una de las más importantes es la interface sistema-usuario, que precisamente permite el flujo de información. Otras variables son costo y efectividad del sistema, factibilidad técnica, legal, operacional y económica del mismo, calidad de la información requerida, integración de bloques de construcción, requerimientos del sistema, recursos humanos y nivel de organización.

#### 3.1.1 Metodología para el desarrollo de un Sistema de Información

Lo único constante en el campo de los sistemas de información es el cambio (Burch y Grudnitski, 1986); no obstante, es posible establecer una metodología general para el desarrollo de un SI (figura 3.1). Las principales fases de esta metodología son: análisis, diseño general, evaluación, diseño detallado e implementación del sistema, que finalmente conduce a la operación del mismo. Cada fase incluye diferentes actividades las cuales se muestran en la figura 3.1.

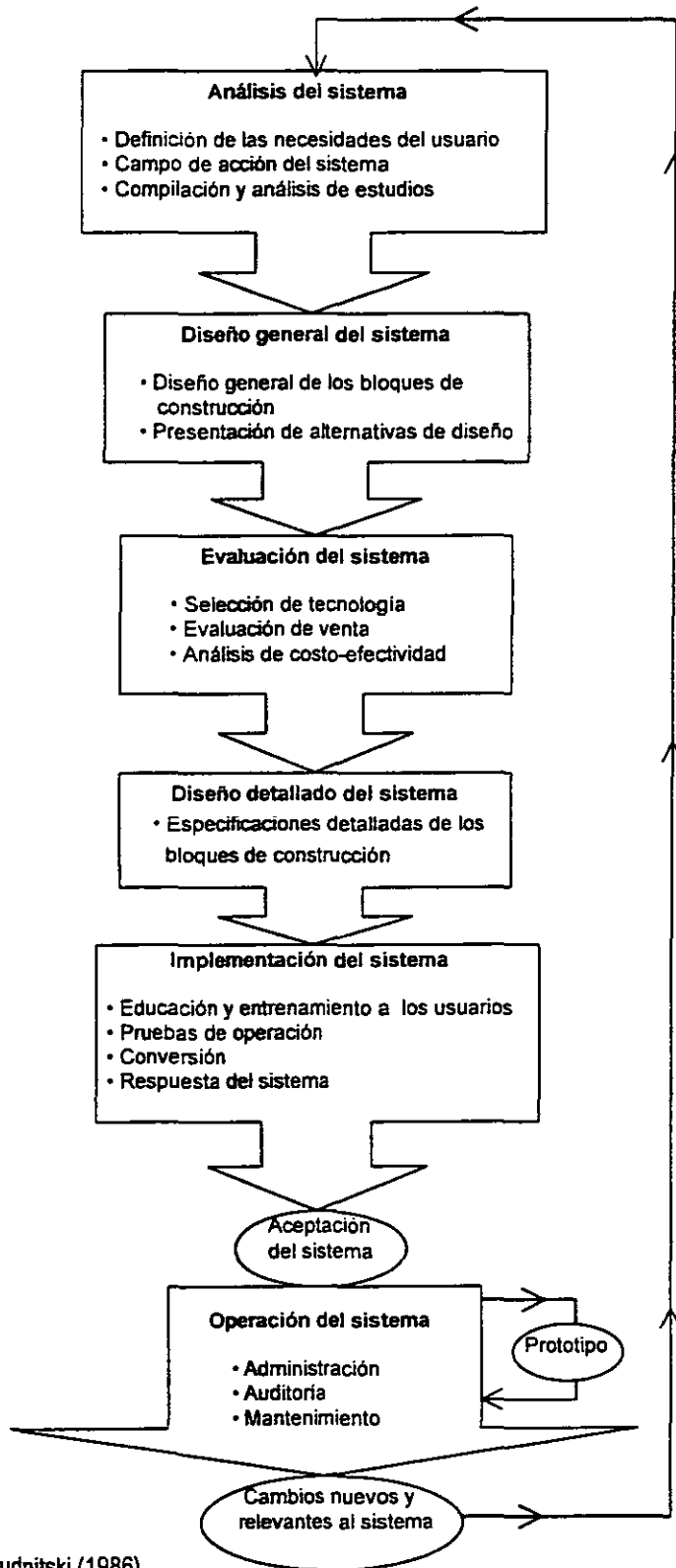
Las primeras cuatro fases están dirigidas a brindar la información necesaria para conformar los bloques de construcción y la última fase, implementación, incluye la integración de los bloques para que el sistema sea funcional. La operación de éste demanda una auditoría y mantenimiento permanente, lo cual permite detectar ciertas fallas o anomalías, que una vez solucionadas favorecen a que el sistema mejore. Esta retroalimentación constante genera prototipos del sistema, definidos de esta forma por sus continuas modificaciones; sin embargo, cuando éstas son drásticas y nuevas es necesario realizar un análisis, diseño general y evaluación del sistema antes de su implementación.

### 3.2 BASES DE DATOS

El término base de datos puede tener diferentes interpretaciones, en este trabajo se define como una colección integrada de registros que se describen por si mismos, es decir, en adición a los datos almacenados contiene una descripción de su propia estructura en forma de diccionario o directorio. Esta característica es muy importante ya que permite la independencia entre el programa y los datos, haciendo posible determinar la estructura y contenido de la base examinando la base por si misma, además tiene la ventaja de que si existe un cambio en la estructura este puede realizarse únicamente modificando el directorio (Kroenke, 1998).

Además de contener archivos de usuario y el diccionario de datos, la base incluye índices que son usados para representar las relaciones entre los datos y para mejorar las aplicaciones de la misma, las cuales incluyen la forma de entrada de los datos o la emisión de reportes (Kroenke, 1998).

Figura 3.1 Metodología para el desarrollo de un sistema de información (SI).



Tomado de Burch y Grudnitski (1986).

### *Visión física y visión lógica de una base de datos*

La programación para el acceso a una base de datos puede ser vista como un proceso de traducción de lo que el usuario requiere en instrucciones que una computadora pueda ejecutar. La solicitud o petición que realiza el usuario debe ser traducida automáticamente en un conjunto de instrucciones que la computadora pueda realizar para recuperar el dato. Una parte de esta traducción deberá determinar exactamente donde buscarlo. Este proceso es descrito frecuentemente como una conversión de una visión lógica de los datos en una visión física de los mismos. Empleando una visión lógica de los datos el programa pregunta lo que es requerido; la visión lógica expresa la forma en que el usuario o el programador piensan acerca del dato. Por ejemplo, determinar cuantos vuelos a Guadalajara están programados para una fecha determinada; esto se plantea en términos de un modelo de datos que describe la estructura de la base de datos y revela exactamente donde es almacenado el dato de interés. El lenguaje de programación, el sistema de administración de datos (de sus siglas en inglés DBMS) y el sistema operativo trabajan en conjunto para convertir esta visión lógica en una visión física del dato, especificando exactamente lo que la computadora tiene que realizar para encontrar y recuperar el dato. La visión física se presenta en términos de la localización específica en la sección de almacenaje más las técnicas usadas para encontrar el dato (Alter, 1992).

Las principales características de una base de datos son:

- Independencia de datos. Esta característica determina hasta que punto la estructura física del almacenamiento de los datos es independiente de los programas de aplicación que la acceden.
- Privacidad. Esta propiedad es importante ya que niega el acceso no autorizado a la base de datos.
- Integridad. Esta característica evidencia hasta que punto la base de datos sigue siendo un modelo preciso de aquella parte del sistema que representa, debido a que la protege de recibir modificaciones no válidas.
- Reserva y recuperación. Esta característica permite reconstruir la base de datos después de alteraciones debidas a fallos de equipos o programas. La recuperación de tales alteraciones se lleva a cabo mediante el empleo de estrategias de bloqueo, transacciones, ficheros de reserva y rutinas de recuperación.

Para construir una base de datos se emplean diferentes modelos estructurales, siendo los más importantes los que se mencionan a continuación:

#### a) Modelo relacional

Este modelo brinda una forma fácil para combinar y manipular datos de múltiples archivos para producir uno solo que da respuesta a la pregunta planteada. Existen tres principales operadores relacionales: selectivo, proyectivo y de unión.

La relación que existe entre los datos puede estar representada por una tabla, tal como se ilustra en la tabla 3.1. Esta relación representa una situación en la que el departamento de una industria (D1), que posee dos máquinas (M1 y M2), está relacionado con cuatro tipos de piezas (P1, P2, P3 y P4) y el número de piezas por máquina.



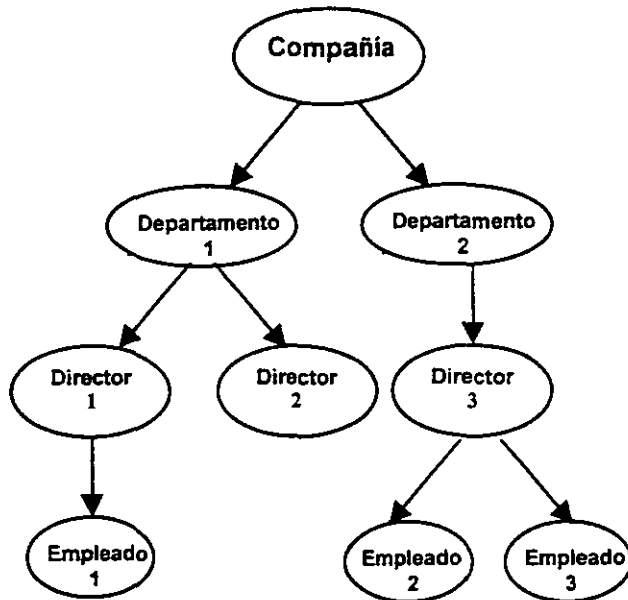
Tabla 3.1 Ejemplo de un modelo relacional.

Departamento	Máquina	Pieza	Cantidad
D1	M1	P1	20
D1	M1	P2	40
D1	M2	P2	10
D1	M2	P3	20
D1	M2	P4	4

b) Modelo jerárquico

En un modelo jerárquico el acceso a los datos se realiza siguiendo una jerarquía en la cual se identifican entidades, atributos y relaciones. Las entidades se relacionan entre sí mediante una estructura arborescente (figura 3.2). Los nodos de los árboles son entidades y los arcos o ramas son relaciones entre entidades. Las entidades de la parte superior del árbol se llaman raíces y pueden estar relacionadas con cualquier número de entidades dependientes de nivel más bajo, y cada una de éstas puede estar relacionada a su vez con entidades del nivel aún más bajo, y así sucesivamente.

Figura 3.2 Ejemplo de un modelo jerárquico.



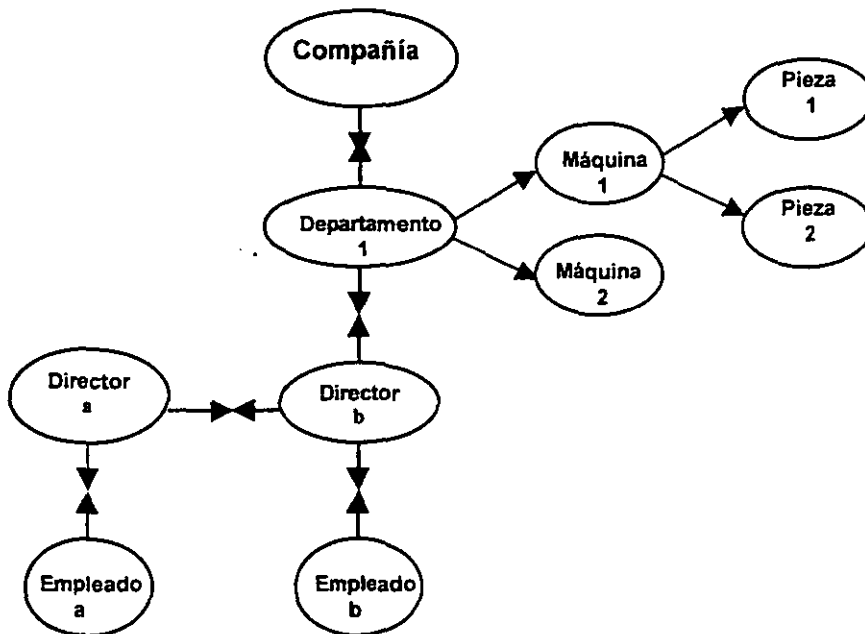
c) Modelo de red

En la perspectiva de red se hace la misma distinción entre entidades y atributos que en la perspectiva jerárquica. Sin embargo, las estructuras permitidas que vinculan entidades son mucho menos restrictivas. Las entidades pueden estar relacionadas con cualquier número de otras entidades, un ejemplo se muestra en la figura 3.3

El modelo de red se puede utilizar para crear de manera fácil modelos para la mayor parte de las estructuras de una organización; sin embargo, el almacenamiento de datos es más complicado, en cuanto a espacio se refiere, es menos eficaz que en modelos jerárquicos.

En un modelo de red se torna innecesario trabajar a través de una jerarquía para acceder a los datos cuando existen uniones entre los registros en diferentes archivos. En este modelo cada registro puede tener múltiples dueños o mandos superiores (Alter, 1992).

Figura 3.3 Ejemplo de un modelo de red.



### 3.3 SISTEMAS EXPERTOS

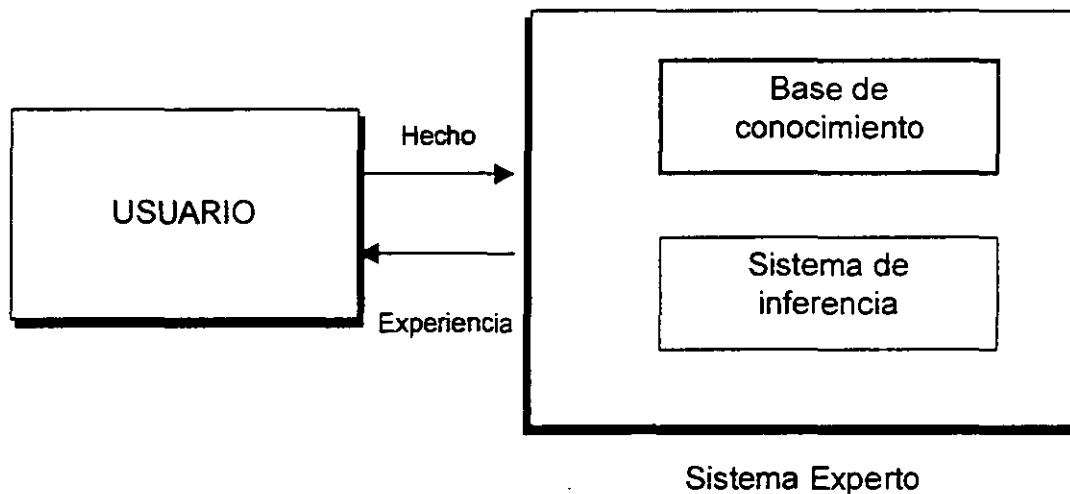
Los sistemas expertos (SE) constituyen una rama de la inteligencia artificial<sup>1</sup> enfocada al uso extensivo de conocimiento especializado para resolver problemas al nivel de un experto humano. Diversos autores definen a un sistema experto como un programa computacional inteligente capaz de emplear el conocimiento y procedimientos de

<sup>1</sup> La inteligencia artificial se define como la capacidad de un equipo electrónico para realizar funciones que están normalmente asociadas con la inteligencia humana, tales como el razonamiento, aprendizaje y el continuo mejoramiento. Ésta incluye el estudio de las computadoras y técnicas relacionadas a éstas para incrementar las capacidades intelectuales del hombre.

inferencia para resolver problemas con tal grado de dificultad que se requiere de la experiencia humana para su solución. Esto es, un sistema experto es un sistema computacional que emula la capacidad de tomar decisiones de un experto humano.

Los SE pueden consistir tanto de experiencia personal del programador como del conocimiento disponible en literatura. El término de sistema experto, sistema basado en conocimiento o sistema experto basado en conocimiento son indistintamente empleados; la figura 3.4 ilustra el concepto básico de estos sistemas (Giarratano y Riley, 1994). Internamente el sistema experto consiste de dos principales componentes: la base de conocimiento y la parte de inferencia, ésta última es la que permite llegar a una conclusión.

Figura 3.4 Concepto básico de la función de un sistema experto (SE).



Según Sánchez (1990), la historia de los sistemas expertos puede dividirse en tres etapas:

- 1) Hasta el año 1974, en ésta se crean las bases teóricas que conducen a la conceptualización de los SE. También se desarrollan los lenguajes de programación y los sistemas de computo.
- 2) Comprende de 1974 a 1984, llamada por algunos autores "década de los SE", en ésta se construyeron los SE que a la fecha constituyen una referencia obligada: MYCIN, PROSPECTOR y DENTRAL, entre otros. En esta década se ponen en marcha los grandes proyectos de investigación y desarrollo que de una u otra forma incluyen a los SE, por ejemplo el proyecto de computadoras de quinta generación.
- 3) Comienza en 1984 y es la que impera a la fecha. Se caracteriza por la gran difusión de lenguajes especializados, herramientas y sistemas vacíos, gracias a su comercialización para computadoras personales. Esta etapa terminará cuando se comercialicen las computadoras y lenguajes paralelos.

## Características

Las características generales bajo las cuales se diseña un sistema experto son:

- Alto desempeño. El sistema debe de ser capaz de responder a un nivel de competitividad igual o mejor que un humano experto en el campo.
- Tiempo de respuesta adecuado. El sistema debe de dar respuesta en un tiempo razonable, comparable o mejor que el tiempo requerido por un humano para tomar una decisión fundamentada.
- Confiable. El sistema experto debe de ser confiable y estable.
- Explicativo. El sistema deberá ser capaz de explicar los pasos de su razonamiento de una forma entendible para el usuario, como lo haría un experto humano.
- Flexibilidad. Debido a la gran cantidad de conocimiento que un sistema experto pueda tener, es importante contar con un mecanismo eficiente para adicionar, cambiar o borrar conocimiento. Una razón de la popularidad de estos sistemas es su capacidad de almacenamiento modular basado en el empleo de reglas de estructuración.
- El sistema tiene que tener la capacidad de presentar una lista de todas las razones para apoyar o refutar una hipótesis.
- Tiene que explicar todas las posibles consecuencias de una hipótesis.
- Justificar las preguntas que se le hacen al usuario para obtener más información.

### 3.3.1 Diseño de un sistema experto

Al proceso de construcción de un sistema experto se le denomina *ingeniería del conocimiento* y lo realiza un *ingeniero del conocimiento*. La *ingeniería del conocimiento* se refiere a la adquisición del conocimiento de un experto humano u otra fuente y su codificación en el sistema experto.

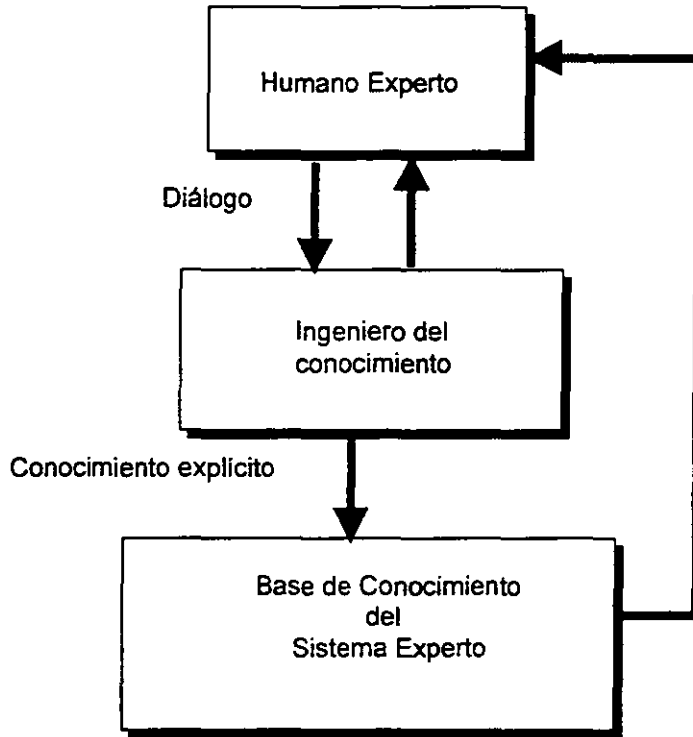
Los pasos generales para el desarrollo de un sistema experto se ilustran en la figura 3.5 (Giarratano y Riley, 1994). El *ingeniero del conocimiento* primero establece un diálogo con el experto humano para extraer la información, posteriormente ésta es codificada en la base de conocimientos. Posteriormente, el experto evalúa al sistema experto y proporciona una crítica al *ingeniero de conocimiento*, este proceso es iterativo hasta que el funcionamiento del sistema resulta ser satisfactorio para el experto, el *ingeniero del conocimiento* y el posible usuario.

El diseño de un sistema experto es diferente al de un programa convencional, debido a que los problemas usualmente no tienen una solución algorítmica sino que dependen de inferencias para llegar a una solución razonable. Por lo anterior, un sistema experto debe de ser capaz de explicar su razonamiento para que éste sea verificado. La capacidad de explicación es una parte integral de un sistema experto y puede estar diseñada para permitir al usuario explorar diferentes líneas por medio de preguntas como ¿Qué pasa si ...?, a esto se le denomina *razonamiento hipotético*, el cual es traducido a un lenguaje natural en forma de reglas.

El formalizar el conocimiento de expertos en reglas no es simple, especialmente cuando el conocimiento experto nunca ha sido sistemáticamente explorado, sus reglas pueden

resultar inconsistentes, ambiguas o duplicadas. A diferencia de un experto humano que reconoce las áreas de su ignorancia, los SE harán recomendaciones aún si los datos con los que trabaja son inexactos o incompletos.

Figura 3.5 Desarrollo de un sistema experto.



Una limitación práctica de muchos SE es la carencia de conocimiento causal, es decir, carece del entendimiento de causas y efectos en un sistema.

Otro problema con los SE es su experiencia limitada. Un sistema experto no puede generalizar su conocimiento usando analogías para razonar acerca de nuevas situaciones, aunque las reglas de inducción pueden ser una ayuda, solamente tipos limitados de conocimiento pueden incluirse en un sistema experto de esta forma.

#### *Ventajas de un sistema experto*

- Disponibilidad. El conocimiento y experiencia están disponibles en paquetes de computo.
- Costos reducidos. El costo por la provisión de experiencia para el usuario es bajo.
- Peligro reducido. Los SE pueden ser empleados en ambientes que podrían ser peligrosos para un humano.
- Permanencia. La experiencia es permanente. Los expertos humanos pueden retirarse, abandonar el trabajo o morir, el conocimiento de los SE es por tiempo indefinido.
- Experiencia múltiple. El conocimiento de múltiples expertos puede estar disponible para trabajar simultáneamente y continuamente sobre un problema en cualquier

momento. El nivel de experiencia combinada de varios expertos puede exceder a la de un experto humano único.

- **Confiabilidad.** Los SE incrementan la confianza en la toma de decisiones debido a que se construyen a partir de la experiencia de diferentes expertos, obviamente esto no es aplicable si el sistema fue programado por un solo experto. El sistema experto debe estar siempre de acuerdo con el experto al menos que el experto se encuentre cansado o bajo estrés.
- **Explicación.** El sistema experto tiene la capacidad de explicar en detalle el razonamiento que le permitió llegar a la conclusión.
- **Respuesta inmediata.** Una respuesta rápida o dentro del tiempo real puede ser necesaria para ciertas aplicaciones. Dependiendo del programa de cómputo y del equipo computacional empleado, un sistema experto puede responder más rápido y ser más accesible que un experto humano. Algunas situaciones de emergencia pueden requerir respuestas más rápidas que un humano y un sistema experto es buena elección.
- **Estabilidad.** La estabilidad del sistema es un factor muy importante en el tiempo real y en situaciones de emergencia cuando un experto humano puede no operar al mismo nivel por estrés o por fatiga.
- **Tutor inteligente.** El sistema experto puede actuar como un tutor inteligente permitiendo al estudiante correr programas de prueba y explicar el razonamiento del sistema.
- **Bases de datos inteligentes.** Los SE pueden ser usados para acceder a bases de datos en una forma inteligente.

#### *Aplicación de los sistemas expertos*

Los sistemas expertos han sido aplicados prácticamente en todos los campos del conocimiento, algunos han sido diseñados como herramientas de investigación mientras otros han sido desarrollados para llevar al cabo funciones industriales o de negocios. Un ejemplo de un sistema experto que lleva a cabo funciones de negocios es el sistema XCON que diseña configuraciones de sistemas computacionales, incluye el *software*, *hardware* y la documentación.

Existen diferentes sistemas expertos empleados en el campo de la química como: el sistema CRYSLIS que interpreta la estructura tridimensional de una proteína; el CLONER empleado para el diseño de nuevas moléculas biológicas y el MOLGEN que diseña experimentos de clonación de genes.

En el campo de la medicina se emplea el AI/COAG útil para el diagnóstico de enfermedades sanguíneas y el ATTENDING que funciona como instructor en la administración de anestésicos, mientras que en ingeniería se emplea el PROSPECTOR que interpreta datos geológicos para los minerales y el MUD para problemas de perforación.

Además de estos, son muchos otros los ejemplos existentes pudiendo asegurar que su empleo irá en aumento junto con el de las computadoras. En el capítulo siguiente se plantea el empleo de esta herramienta para la evaluación de la información ambiental proporcionada por la industria en México.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CÉDULA DE OPERACIÓN ANUAL

La evaluación de la Cédula de Operación Anual (COA) se realiza en forma cualitativa y cuantitativa. La evaluación cualitativa determina si todos los contaminantes generados y emitidos al aire, agua, suelo o el empleo de alguna de las sustancias señaladas en la COA, y correspondientes al subsector industrial, fueron reportados por el establecimiento, es decir, se evalúa el completo llenado de la cédula. Mientras que la evaluación cuantitativa califica la exactitud de la información reportada.

#### 4.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA

El reporte de la COA es obligatorio para las industrias de jurisdicción federal de acuerdo al Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, las cuales se clasifican en 11 sectores industriales, que a su vez se dividen en 116 subsectores.

Para realizar la evaluación cualitativa fue necesario, en primera instancia, elaborar una base de datos con la caracterización de los subsectores industriales con relación a los contaminantes que pueden ser emitidos. Los contaminantes a considerar son los establecidos en las secciones 2, 3, 4 y 5 de la COA.

Debido a que dentro de un subsector industrial existen múltiples procesos con tecnologías y equipos muy variados, es difícil asegurar si un contaminante será o no emitido, esto conlleva a la incorporación de un factor de obligatoriedad que establece si un contaminante es siempre, nunca o posiblemente emitido. Por lo tanto, al factor de obligatoriedad se le asocian tres valores:

Factor de obligatoriedad	Representación	Valor
Obligatorio	O	1
No obligatorio	N	0
Probable	P	$0 < P < 1$

El factor de obligatoriedad tiene carácter *obligatorio* y se le asigna un valor igual a la unidad cuando, de acuerdo a la bibliografía técnica, no existe ninguna duda de que el subsector emite el contaminante específico (por ejemplo: bióxido de carbono al aire en una termoeléctrica). De manera recíproca, el factor de obligatoriedad adquiere carácter de *no obligatorio* y vale cero cuando se tiene la certeza de que el contaminante no es emitido (por ejemplo: bióxido de carbono en descargas al agua).

La posibilidad de que el factor pueda tomar valores entre cero y uno se debe a que, de entre los procesos o tecnologías utilizadas en cada subsector industrial, no todos emiten los mismos contaminantes. Puede haber algunos casos en los que esto se deba a las características particulares del proceso, o a diferencias como el tipo de combustible o materia prima empleada. Por ejemplo, en una industria metalúrgica puede emplearse un combustible fósil para operar los hornos de fundición, o bien, puede emplearse energía eléctrica (hornos eléctricos). En el primer caso los contaminantes emitidos derivarán principalmente del proceso de combustión; en el segundo caso la emisión estará condicionada fundamentalmente por la composición de la materia prima.

#### 4.1.1 Criterios para asignar el factor de obligatoriedad

##### *Emisiones a la atmósfera*

Los criterios que se emplean para la asignación del factor de obligatoriedad para los contaminantes emitidos a la atmósfera, cuyo reporte se solicita en las tablas 2.3.1 a 2.3.7 del formato COA, se describen a continuación.

*Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*. Es emitido por la presencia de azufre en el combustible o en la materia prima. Si la materia prima empleada en alguno de los procesos de un subsector contiene azufre la bibliografía indica que su reporte debe ser *obligatorio (O)*.

En lo que se refiere a los combustibles, conviene diferenciarlos respecto a su contenido de azufre. Por ejemplo, un proceso de combustión que consume gas natural o gas LP no emite SO<sub>2</sub> o sus emisiones no son detectables; sin embargo, uno que consume combustóleo, diesel o carbón sí lo emite. Por lo anterior, a los subsectores que lleven a cabo un proceso de combustión se les asigna *probable (P)*, con la idea de aclarar que la emisión de SO<sub>2</sub> dependerá del tipo de combustible que utilice.

*Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)*. Tienen su origen en procesos de combustión fundamentalmente por dos mecanismos: 1) disociación térmica y subsecuente reacción de moléculas de nitrógeno y oxígeno en el aire de combustión, este mecanismo ocurre a altas temperaturas ( $\approx 1000$  °C) y los NO<sub>x</sub> formados se denominan térmicos; 2) formación de los llamados NO<sub>x</sub> *prompt* mediante la reacción del nitrógeno del combustible con oxígeno del aire de combustión. Por lo anterior, los NO<sub>x</sub> se forman siempre que exista un proceso de combustión en presencia de aire. Si dentro del subsector industrial que se evalúa se lleva a cabo un proceso de combustión el factor asignado es O, en caso contrario, el factor asignado es N.

*Partículas*. Sus emisiones son características de procesos muy bien identificados de industrias como la cementera, minera y metalúrgica, en estos casos el factor determinado es O. Mientras que en los procesos de combustión, su emisión está condicionada al tipo y calidad del combustible, diseño y estado del equipo, nivel de mantenimiento del mismo y a la existencia de equipo de control, por lo consiguiente el parámetro asignado es P.

*Hidrocarburos no quemados (HC)*. Se generan por una combustión incompleta por lo que su emisión está condicionada a la eficiencia de la misma y al diseño y estado del equipo. Sin embargo, considerando que la combustión completa es un proceso ideal, siempre



habrá emisión de hidrocarburos cuando se realice la quema de combustibles fósiles, asignando como factor de obligatoriedad O, excepto cuando la bibliografía señala que estas emisiones son despreciables, en cuyo caso se asignará una P.

*Monóxido de carbono (CO)*. Es producto de una combustión incompleta, su emisión depende del diseño y estado del equipo, y de la eficiencia de la combustión. No obstante, la revisión bibliográfica permitió constatar que el CO se detecta siempre que algún proceso de combustión use gas natural, combustóleo, gas LP, carbón o combustibles alternos, de ahí que se haya asignado una O a todos los subsectores que incluyan procesos de combustión.

*Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*. Es producto de un proceso de combustión completa, por lo tanto, si el subsector incluye algún proceso de combustión, se le asigna, así como para el CO, una O. En caso contrario se le asigna una N.

*Compuestos orgánicos volátiles (COVs)*. Considerando la gran variedad en la composición química de estos compuestos, establecer la obligatoriedad de su reporte es complicado, por lo que se recurrió exclusivamente a la información disponible en la literatura especializada. Si en ésta se menciona su emisión para un proceso específico la letra asignada es O, en caso contrario se asigna una N, y si se señala que su emisión depende de factores como estado del equipo o condiciones de almacenamiento la letra asignada es P.

#### *Descargas de aguas residuales*

Los tipos de contaminantes que se emiten en las aguas residuales dependen específicamente de los procesos y actividades que se llevan al cabo en el establecimiento industrial. En términos generales, se puede definir que las aguas residuales con contaminantes inorgánicos se originan principalmente de la industria metalúrgica, donde se incluye la extracción de minerales y la siderúrgica; así como de la galvanoplastia y la industria química que procesa o produce ácidos inorgánicos y fertilizantes. Las aguas residuales generadas contienen una gran proporción de material suspendido, sustancias minerales disueltas, sustancias ácidas y alcalinas, aceites minerales, cianuro, cromatos, hierro y fluoruros.

En contraparte, las aguas residuales con contaminantes orgánicos provienen principalmente de la industria química que utiliza ácidos orgánicos o que produce plastificantes; curtidurías, fábricas textiles, industria de la celulosa y papel, industria del petróleo e industrias alimenticias, siendo el principal contaminante la materia orgánica, además de nitratos, fósforo y metales pesados.

La asignación del factor de obligatoriedad se fundamenta en la consulta de 9 normas mexicanas (Sedesol 1993a-i), abrogadas actualmente por la NOM-001-ECOL/1996, que establecían límites máximos de emisión de contaminantes en descargas de aguas residuales a cuerpos receptores para giros industriales particulares. Partiendo de que para el establecimiento de éstas tuvo que realizarse una caracterización completa de los principales contaminantes emitidos, sobre la base de los procesos involucrados en un giro industrial, se consideran como obligatorios (O) a aquellos contaminantes que dichas normas regulaban. Adicionalmente, en éstas se señalaban otros parámetros para los

cuales las autoridades podrían establecer límites máximos de emisión en el caso de que se identificaran descargas, que a pesar del cumplimiento de los límites establecidos, causaran efectos negativos en el cuerpo receptor; a dichos parámetros se les asignó el factor de obligatoriedad P, dado que su reporte obedecía a condiciones particulares de descarga. El factor de obligatoriedad N se asignó a los contaminantes que no se mencionan en dichas normas. Estas asignaciones se apoyan en la revisión de 13 perfiles de emisión publicados por la USEPA para giros industriales específicos (USEPA, 1995a-m) y en los manuales de disposición de aguas residuales editados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (Czys, 1991).

### *Residuos peligrosos*

Los manuales de minimización, tratamiento y disposición de residuos peligrosos e industriales, elaborados para la Dirección General de Residuos Peligrosos del Instituto Nacional de Ecología (CAM-TÜV a-e y CAM-TÜV, 1999)<sup>1</sup> para giros industriales específicos señalan a los residuos más importantes generados en giros industriales específicos. A los residuos que se encuentran listados en la COA y que se mencionan en estos manuales o en los perfiles de emisión publicados por la USEPA (USEPA, 1995a-m) se les asigna el factor de obligatoriedad O. Para aquellos contaminantes que se desconoce si son o no emitidos se les asigna una P.

### *Sustancias listadas*

Para las sustancias listadas en la tabla 12 de la COA (INE, 1999b) se determinó el factor de obligatoriedad con base en la consulta del AP-42 (USEPA, 1998) y perfiles de emisión de la USEPA (USEPA, 1995a-m), asignando una O a los que la bibliografía señala como característicos del proceso industrial, una N a los que presenten el caso contrario y una P a los que su emisión está condicionada, por ejemplo, al tipo de combustible, uso de sustancias alternas y modificaciones al proceso, entre otros.

La base de datos con los factores de obligatoriedad se presenta en el anexo 1.

## 4.2 EVALUACIÓN CUANTITATIVA

La evaluación cuantitativa consiste en determinar la exactitud del reporte de las emisiones contaminantes por parte del establecimiento industrial, mediante su comparación con valores teóricos calculados a partir de factores de emisión.

Un factor de emisión se define como aquel valor que relaciona la cantidad de contaminantes que se emiten con una variable del proceso que se denomina *nivel de actividad*; la mayoría se encuentran compilados en el AP-42 (USEPA, 1998). En primera instancia, las emisiones teóricas para evaluar cuantitativamente la COA, se calculan a

---

<sup>1</sup> A la fecha se encuentra publicado únicamente el manual para el giro metalurgia (CAM - TÜV, 1999), los manuales para el giro metalmeccánico (hierro y acero), pinturas, química, fundición y galvanoplastia se encuentran en trámite de publicación.

partir de estos factores, posteriormente se pretende generar factores de emisión nacionales utilizando la información recopilada de la cédula a través de varios años.

#### 4.2.1 Adaptación de factores de emisión

La selección de factores de emisión de bibliografía se enfocó a aquellos que pudieran emplearse utilizando la información de la COA y en los casos donde su aplicación no fuera inmediata se propuso su adecuación.

A continuación se mencionan los criterios empleados para adaptar a los factores proporcionados por USEPA para su aplicación a partir de los datos de la COA.

1. Cuando la información de la COA resulta insuficiente para emplear factores específicos se aplican intervalos que incluyen a todos los casos posibles. Tales casos son:
  - a) Combustión de combustóleo. En Estados Unidos se distingue entre diferentes tipos de combustibles aceitosos (*fuel oil* No. 4, No. 5 y No. 6), que en México se conocen en general, como combustóleo, por lo tanto, los factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles se conjuntan en un intervalo para su aplicación. Es importante aclarar que el combustible denominado *fuel oil distillate* se consideró como diesel.
  - b) Combustión de gas LP. Se combinaron los factores de emisión del gas LP butano y gas LP propano ya que la COA no diferencia entre estos dos.
  - c) Combustión de carbón. Se unificaron en un intervalo todos los factores de emisión proporcionados para los diferentes tipos de carbón reportados: antracita, lignita, bituminoso y subbituminoso.
  - d) Producción de explosivos. En este caso, la eficiencia del equipo es factor determinante para la emisión de contaminantes, por lo que se construyó un intervalo donde el límite inferior corresponde a incineradores con alta eficiencia y el límite superior para los de baja eficiencia.
  - e) Combustión de gas natural en calderas. Se realizó un intervalo con los diferentes factores de emisión que hacen distinción entre diferentes tipos de quemadores en calderas, debido a que la COA no solicita esta información.
  - f) Producción de coque. El límite inferior del intervalo corresponde a enfriamiento con agua sucia ( $\geq 5000$  mg/l de sólidos disueltos totales) y el límite superior a enfriamiento con agua limpia ( $\leq 1500$  mg/l de sólidos disueltos totales).
  - g) Fundición de chatarra. Las condiciones en las que se encuentra la chatarra son importantes para determinar la cantidad de contaminantes que se van a emitir. Como no es posible obtener esta información se decidió emplear un intervalo, donde el límite superior corresponde a material muy sucio o aceitoso y el inferior a material con ausencia de aceite.

- h) Laminación de metales no ferrosos (específicamente para plomo). El límite inferior del intervalo es para un lavador de alta energía y el límite superior para uno de baja energía.
  - i) Producción de resinas sintéticas (incluye plastificantes). El factor empleado es para compuestos orgánicos volátiles no metano (COVNM) y abarca las emisiones para plantas con condensadores de spray hasta para las que carecen de éstos.
  - j) Fundición de chatarra de hierro, aluminio, bronce, plomo y otros materiales metálicos. La cantidad de partículas que se emiten depende del material que se procesa (chatarra). El límite inferior del intervalo corresponde a chatarra con cobre y latón, y el límite superior corresponde a alambre de cobre.
  - k) Laminación primaria de hierro y acero (incluye ferroaleaciones, aceros comunes y especiales, y desbastes primarios). El factor de emisión es para la fundición y refinación en un horno de soplado alto (*top blown*). El límite inferior del intervalo es el factor de emisión para un horno controlado por una ventila de capuchón cerrado al lavador y el límite superior es para un horno de capuchón abierto.
2. La composición específica de los combustibles es una variable determinante para el empleo adecuado de los factores de emisión, a continuación se citan los valores empleados con respecto al contenido de ciertos compuestos en los combustibles.
- a) El factor de emisión de SO<sub>2</sub> para la quema de combustóleo requiere el % de azufre en el combustible, el valor empleado es 3.54 y se obtuvo promediando los valores reportados por las refinerías Cadereyta, Tula y Salamanca, valores que a su vez son el contenido promedio de azufre del año 1991 hasta 1998.
  - b) Los factores de emisión de SO<sub>2</sub> para la combustión de gas LP requieren también el % de azufre en el gas LP y en este caso se consideró un porcentaje de 0.04.
  - c) Los factores de emisión para partículas y SO<sub>2</sub> para la combustión de carbón requieren el % de S y cenizas en el carbón. Los datos incluidos son: 1.2% en peso de azufre y 37% de cenizas contenidas en el carbón subbituminoso. Esta información fue proporcionada por la Gerencia de Protección Ambiental de la Compañía Federal de Electricidad vía telefónica. Indiscutiblemente este valor deberá modificarse para incluir todos los diferentes tipos de carbón que se utilizan en el país.
  - d) Combustión de diesel. De igual forma, los factores de emisión para SO<sub>2</sub> requieren el % en peso de S. El valor incluido para aplicar el factor es de 0.37 %. Este valor se obtuvo promediando los valores del contenido de azufre en el diesel, reportados por la refinería 18 de marzo y la refinería Tula. Estos valores son a su vez el contenido promedio de azufre del año 1991 hasta 1998.
3. Factores de emisión que incluyen como equipo de control precipitadores electrostáticos o ciclones. En la mayoría de los casos los factores de emisión que incluyen ciclones o precipitadores electrostáticos no hacen diferencia si operan vía

seca o vía húmeda, tal como se especifica en la COA. En este caso, el mismo factor aplica para una operación seca o húmeda.

4. En la afinación y refinación de cobre, los factores de emisión para SO<sub>2</sub>, partículas y NO<sub>x</sub> requieren ser multiplicados por la cantidad de material concentrado. Como esta información no está disponible en la COA, se decidió considerar que cuatro unidades en peso de material concentrado son requeridos para producir una unidad en peso de cobre *blister* (USEPA, 1998).

Es apropiado mencionar que una vez reala precisión de la evaluación se puede mejorar mediante la solicitud de información adicional

Los factores de emisión seleccionados se compilan en una base de datos, donde además de definir las variables relevantes para su empleo, se citan las modificaciones realizadas y su fuente bibliográfica (anexo 2).

#### 4.2.2. Factor de aplicabilidad

Debido al empleo de factores de emisión con grados de confiabilidad diferentes, según clasificación de la USEPA, y a las adecuaciones realizadas a los mismos para su uso dentro de la COA, es importante introducir un factor que defina con que confiabilidad deben calificarse las emisiones reportadas, dicho factor es denominado factor de aplicabilidad, que en primera instancia será definido sobre la base de los criterios de confiabilidad asignados por la USEPA a los factores de emisión.

Los criterios de confiabilidad definidos por la USEPA se basan en las características de las pruebas realizadas para obtener un factor de emisión y estas se clasifican en cuatro:

- A Cuando se hace un número de pruebas en el mismo punto de emisión con una metodología autorizada, de tal manera que se puede validar estadísticamente el factor obtenido.
- B Cuando se realizan pruebas con una metodología aceptada pero que no se cuenta con resultados suficientemente detallados para una validación adecuada.
- C Cuando las pruebas se realizan con una metodología nueva o no autorizada según la normatividad vigente, o bien, por falta de información.
- D Cuando las pruebas se realizan con una metodología no aceptada pero que puede ser usada para establecer el orden de magnitud de la emisión.

Con base a estas pruebas los factores de emisión se clasifican en:

Excelente	Quando el factor de emisión es desarrollado únicamente con pruebas A y a partir de un número significativo de establecimientos industriales, escogidos de manera aleatoria. Además, la fuente de emisión está lo suficientemente especificada de manera que la variabilidad de valores entre la misma población de fuentes es mínima.
-----------	---

Arriba del promedio	Cuando el factor de emisión es desarrollado con pruebas A y a partir de un número razonable de establecimientos, aún si no está suficientemente claro que la muestra sea aleatoria. Como en el caso de los factores excelentes, la fuente de emisión está bien especificada de manera que la variabilidad de valores entre la misma población de fuentes es mínima.
Promedio	Cuando el factor de emisión es desarrollado con pruebas de clasificación A o B 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 está bien especificada.
Debajo del promedio	Cuando el factor de emisión es desarrollado con pruebas de clasificación A o B, a partir de un número pequeño de establecimientos que no pueden tomarse como una muestra aleatoria de la industria. Además, puede haber evidencias de que exista cierta variabilidad de los valores dentro de la misma población de datos.
Pobre	Cuando el factor de emisión es desarrollado con pruebas de clasificación C o D, a partir de un número pequeño de establecimientos que no pueden considerarse como una muestra aleatoria de la industria. Además, puede haber evidencias de que exista cierta variabilidad de los valores dentro de la misma población de datos.

Cada factor de emisión, por tanto, puede ser clasificado por su confiabilidad, que en este trabajo se traduce a un valor que corresponde al factor de aplicabilidad, cuyos valores van de 0.4 a 1.0, donde 1.0 representa el 100% de aplicabilidad o confiabilidad. Estos valores pueden cambiar para México de acuerdo a como se vaya teniendo mayor información de los procesos industriales de nuestro país y/o se vayan generando factores de emisión nacionales:

Excelente	0.8 – 1.0
Arriba del promedio	0.7 – 0.9
Promedio	0.6 – 0.8
Debajo del promedio	0.5 – 0.7
Pobre	0.4 – 0.6

La designación del factor de aplicabilidad a cada factor de emisión considera los siguientes criterios.

Se le asigna el valor del límite superior del intervalo cuando:

- i. Las variables necesarias para aplicar el factor sean generales y la información se encuentre en la COA, por ejemplo, cantidad de combustible quemado, cantidad de materia prima, producción anual, equipo de combustión general (calderas, hornos), siempre y cuando no se mencionen restricciones acerca de su uso.

Se le asigna el valor del límite inferior del intervalo cuando:

- i. El factor sea para equipo muy específico, por ejemplo turbina >600 hp con una eficiencia del 95%.
- ii. Las especificaciones del factor de emisión incluyan valores específicos para ciertas variables, por ejemplo, el considerar el poder calorífico específico del combustible, % de cenizas de diversos combustibles o eficiencia de conversión de un compuesto a otro.
- iii. Cuando se realicen suposiciones o adecuaciones, inicialmente no establecidas en el factor de emisión, pero necesarias para poderlo emplear, a consecuencia de que la COA no contiene toda la información requerida. Este es el caso de los rangos y demás adecuaciones antes mencionadas.

### 4.2.3 Intervalos de calificación

Considerando todas las posibles desviaciones entre la emisión reportada ( $E_r$ ) y la emisión teórica estimada ( $E_t$ ), se establecen intervalos de variación para la evaluación cuantitativa del reporte.

Estos intervalos se determinan con base en el factor de aplicabilidad del factor de emisión. Para factores de emisión con factor de aplicabilidad bajo el intervalo es amplio, caso contrario para los de factor de aplicabilidad alto. La amplitud del intervalo puede modificarse con base en el tipo de contaminante; en este caso, los factores para  $SO_2$  y  $CO_2$  poseen intervalos estrechos debido a que su emisión puede obtenerse a partir de un balance de materia, lo cual le confiere un mayor grado de confiabilidad. De esta forma, cada factor de emisión posee una serie de intervalos específicos, los cuales se encuentran en la base de datos.

Cada intervalo posee un valor que va de  $-1$  a  $1$ . El valor de  $1$  significa que  $E_r$  es muy cercana a  $E_t$  y valores inferiores a  $1$  indican que  $E_r$  difiere gradualmente de  $E_t$ . Esta diferencia se debe a que  $E_r$  es mayor o menor que  $E_t$ . Es importante resaltar estos dos casos ya que los valores asignados a los intervalos que estén por arriba del valor teórico son diferentes a los que estén por debajo. Por ejemplo, un intervalo por arriba del valor teórico puede ser  $E_t + 20\%E_t$ , cuyo valor asignado es  $1$ ,  $E_t + 80\%E_t$  con valor asignado de  $0.2$  o  $E_t + 180\%E_t$  con valor de  $-0.8$ ; el valor asignado descenderá cuanto más aumente el porcentaje. En el caso de los intervalos por debajo del valor teórico los valores asignados van de  $1$  a  $0$ , en este caso no existen valores negativos ya que cuando  $E_r$  esté muy por debajo de  $E_t$ , por ejemplo  $E_t - 70\%E_t$ , se despliega un aviso que advierte que la

información presentada puede no ser verídica. Finalmente, el valor obtenido de los intervalos evidencia que tan semejante es  $E_r$  con respecto a  $E_t$ .

### 4.3 ALGORITMOS DE EVALUACIÓN

El procedimiento establecido para la evaluación cualitativa de la COA se presenta en la figura 4.1. En ésta se marca como primer paso la consulta de la base de datos para determinar la obligatoriedad de reporte del contaminante  $i$ , es decir, se determina el factor de obligatoriedad ( $F_o$ ); posteriormente se asigna el valor del factor de reporte; si el industrial reportó  $F_R = 1$ , en caso contrario,  $F_R = 0$ . Subsecuentemente, se realiza el producto algebraico entre  $F_o$  y  $F_R$ . La calificación cualitativa,  $C_{CL}$ , se deriva del cociente:

$$C_{CL} = \frac{\sum_{i=1}^N F_o F_R}{\sum_{i=1}^N F_o}$$

donde:

$F_{o_i}$  es el valor del factor de obligatoriedad para el contaminante  $i$  y  $F_{R_i}$  es el factor de reporte.

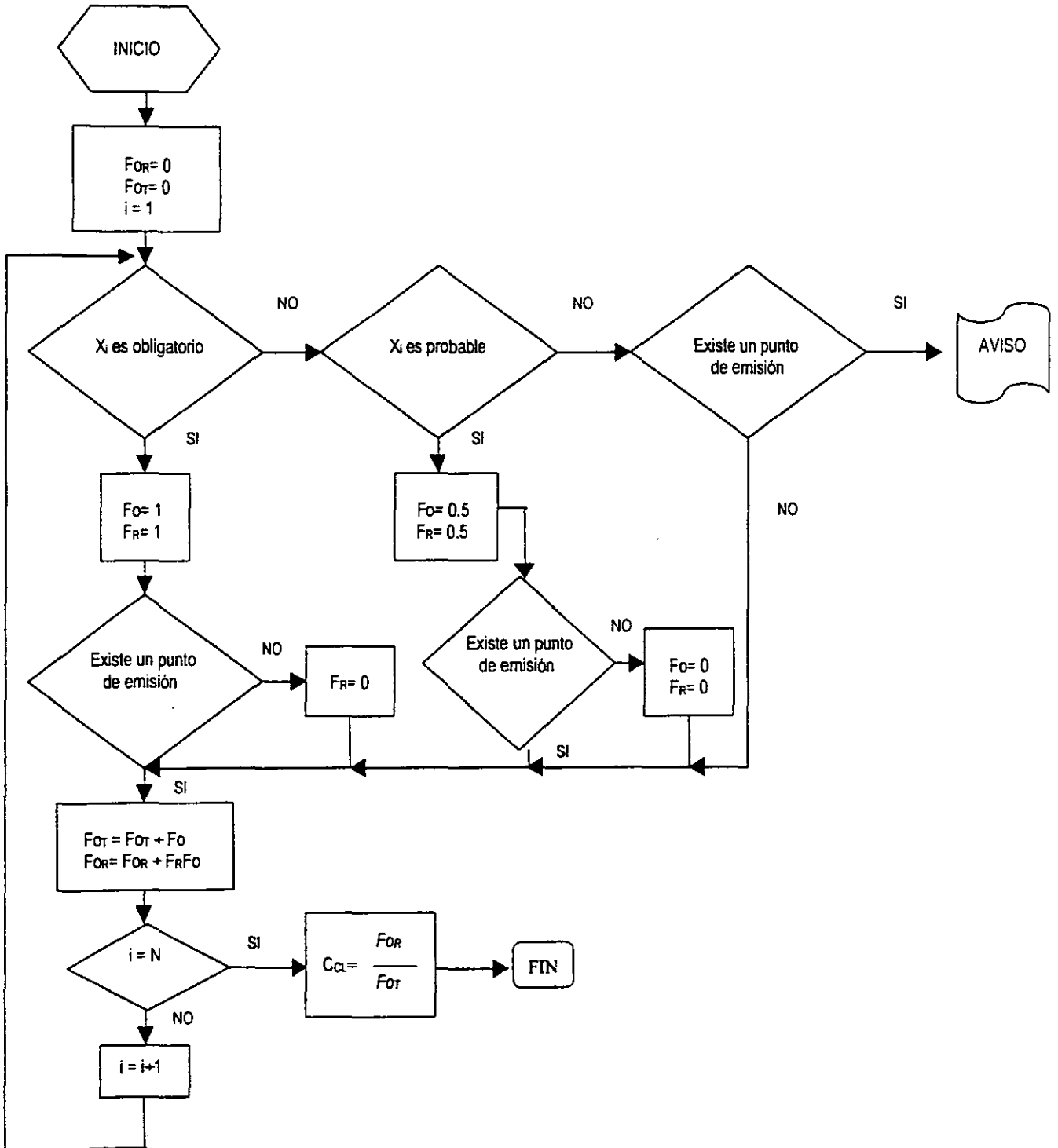
Cuando en la base de datos se tiene como no obligatorio el reporte de un contaminante ( $F_o=0$ ) y se detecta que este fue reportado por el industrial, se despliega entonces un aviso para informar al evaluador que posiblemente la asignación del factor de obligatoriedad para el contaminante  $i$ , en la base de datos, fue incorrecta. Indudablemente, para llegar a esta aseveración es necesario que se cuente con un número de casos estadísticamente confiable.

Concluida la evaluación cualitativa se procede con la evaluación cuantitativa (figura 4.2), que como primer paso determina si el punto de emisión a evaluar se relaciona con un solo punto de generación (por ejemplo, una caldera con una sola chimenea), si se relaciona con varios puntos de generación (por ejemplo, diversas calderas conectadas a una sola chimenea), o bien, si existe un solo punto de generación con varios puntos de emisión (por ejemplo, una caldera que posee varios ductos de emisión).

En el primer caso se identifica al punto de generación ( $z$ ) que se relaciona con el de emisión ( $j$ ). Una vez identificado  $z$  se procede con la selección del factor de emisión ( $F_e$ ) con base en las diferentes variables involucradas en la generación de contaminantes. Dichas variables son: tipo de actividad o equipo que genera los contaminantes ( $E_a$ ) (por ejemplo, horno de cubilote), que puede tener o no un equipo de control asociado ( $E_c$ ) (por ejemplo, lavador de gases), tipo de combustible ( $C_o$ ) (por ejemplo, carbón) y/o subsector industrial al que pertenece el reporte ( $S$ ) (por ejemplo, fundición y moldeo de piezas de hierro y acero). Es apropiado remarcar que cada punto de generación tiene una combinación específica de estas variables y es precisamente esta combinación la que determina el empleo de un  $F_e$  específico de entre los que se encuentran compilados en la base de datos. En el caso de que no exista factor de emisión para evaluar la emisión reportada, ésta se almacena para un posterior análisis y generación de un  $F_e$  (ver inciso 4.3.1).



Figura 4.1 Algoritmo para la evaluación cualitativa.



Si existe un factor de emisión en la base de datos se procede a calcular la emisión teórica,  $E_t$ :

$$E_t = F_e * N_a$$

donde  $N_a$  es el nivel de actividad expresado como consumo de combustible o materia prima, producción, o capacidad térmica nominal del equipo de combustión y su tiempo de operación.  $E_t$  se emplea como punto de referencia para establecer la calificación de la emisión reportada,  $E_r$ . Esta calificación,  $C_a$ , se multiplica por el factor de aplicabilidad ( $F_a$ ) y el valor que resulta se almacena para obtener la calificación cuantitativa,  $C_{CT}$ , mediante el cociente:

$$C_{CT} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N F_{a_i} C_{a_i}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N F_{a_{ij}}}$$

donde:  $F_{a_i}$  es el factor de aplicabilidad asignado para el punto de emisión  $j$  y  $C_{a_i}$  es el valor asignado por la comparación entre el valor teórico y el reportado para  $j$ .

En el segundo caso, donde se tiene un punto de emisión con varios puntos de generación, se procede a calcular la emisión teórica de cada punto de generación  $z$  de la forma antes mencionada hasta concluir con todos los puntos de generación relacionados con  $j$ . Mediante la sumatoria de estas emisiones se obtiene la emisión teórica total ( $E_{t_T}$ ) que es comparada con la emisión reportada.

Para el último caso (un punto de generación con varios puntos de emisión) se calcula la emisión teórica del punto de generación  $z$  conforme al caso 1. Posteriormente, se suman las emisiones reportadas en los diferentes puntos de emisión relacionados con  $z$ , para obtener una emisión reportada total,  $E_{r_T}$ , que es comparada con la emisión teórica calculada inicialmente.

#### 4.3.1 Generación de factores de emisión

Cuando se reporten emisiones y no exista factor de emisión para evaluarlas, el algoritmo considera la generación de factores de emisión a partir de éstas. Esto implica relacionar las emisiones reportadas con una variable involucrada en la generación del contaminante y que sea reportada en la COA, esta puede ser el número de trabajadores de la empresa, producción anual, consumo de combustible o consumo anual de materia prima. Lo anterior se realiza con la finalidad de generar factores de emisión específicos para procesos industriales nacionales. El nivel de confiabilidad de los factores de emisión generados en primera instancia será bajo, pero conforme aumente el tamaño de la muestra, considerando que aumente el número de empresas que reportan la COA y los subsecuentes ciclos de reporte, la confiabilidad incrementará.

Figura 4.2 Algoritmo de evaluación cuantitativa.

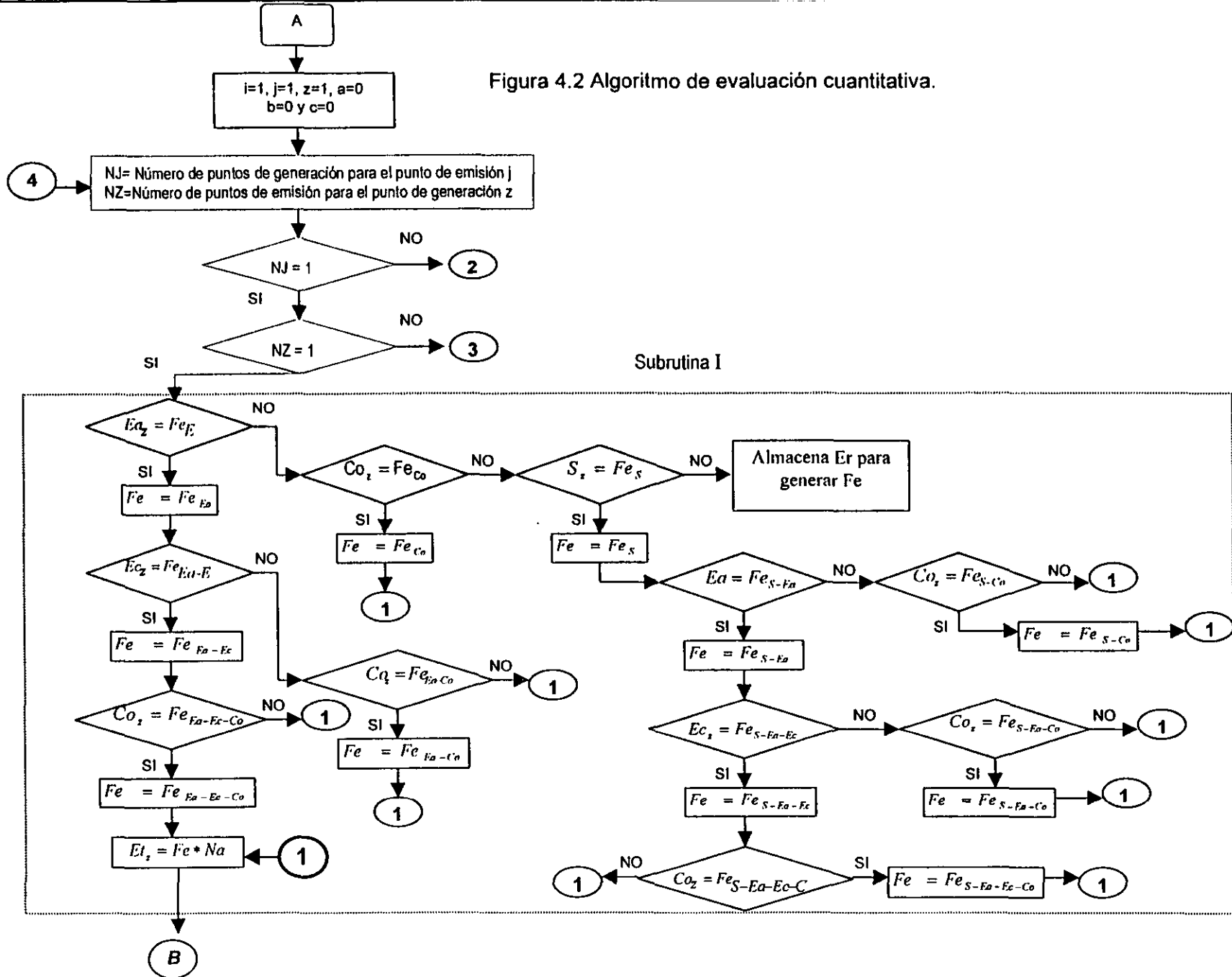


Figura 4.2 Algoritmo de evaluación cuantitativa (continuación).

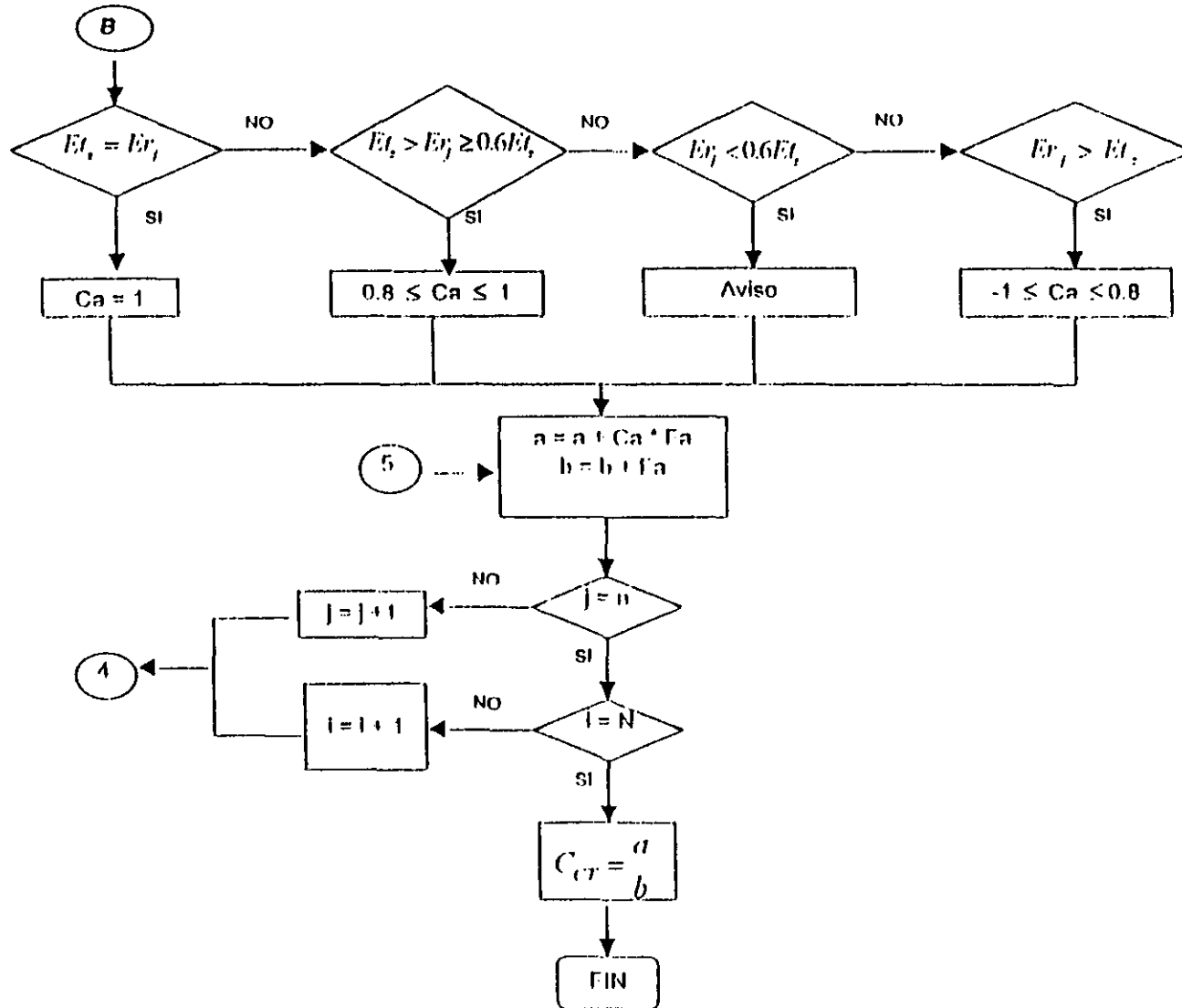


Figura 4.2 Algoritmo de evaluación cuantitativa (continuación).

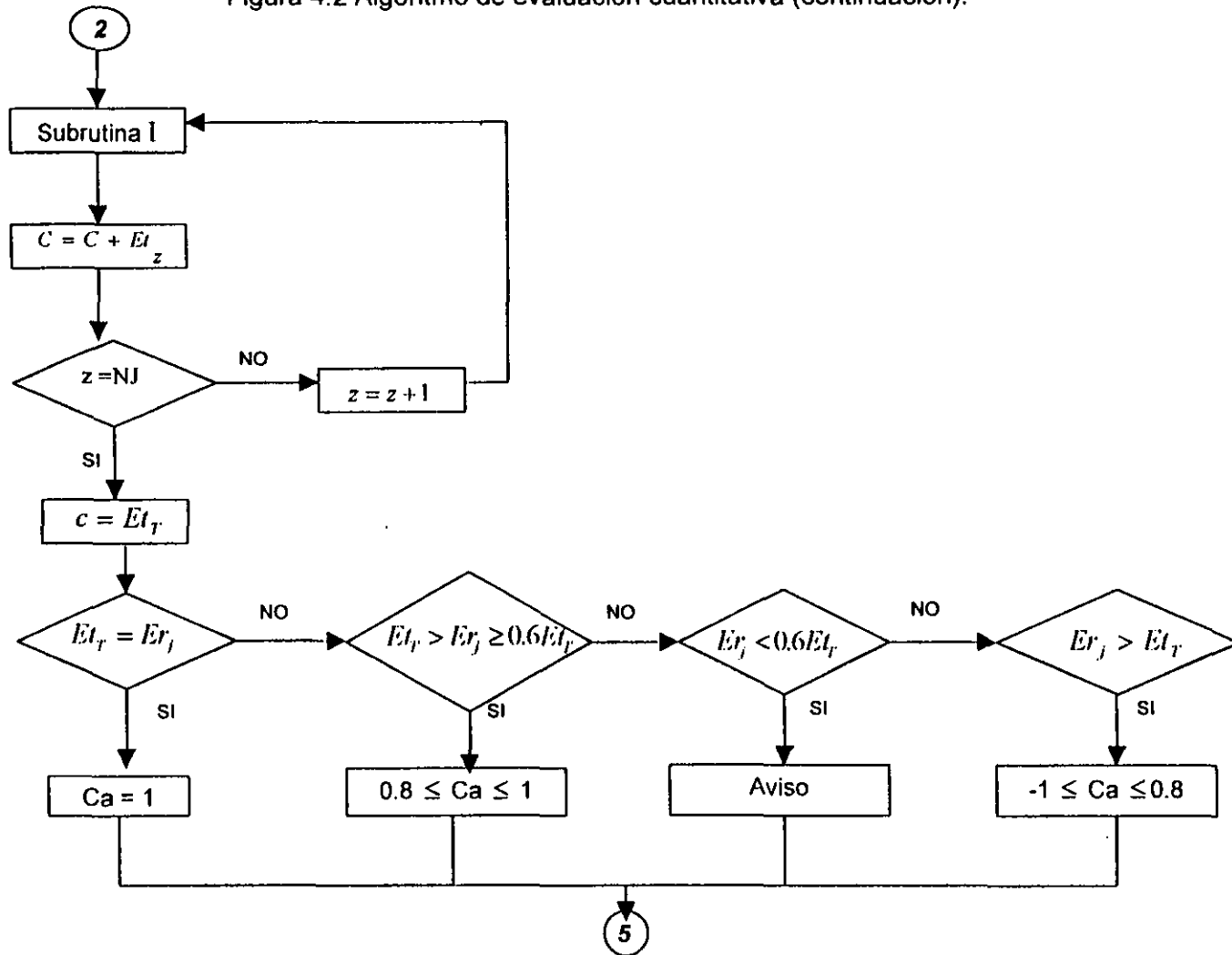
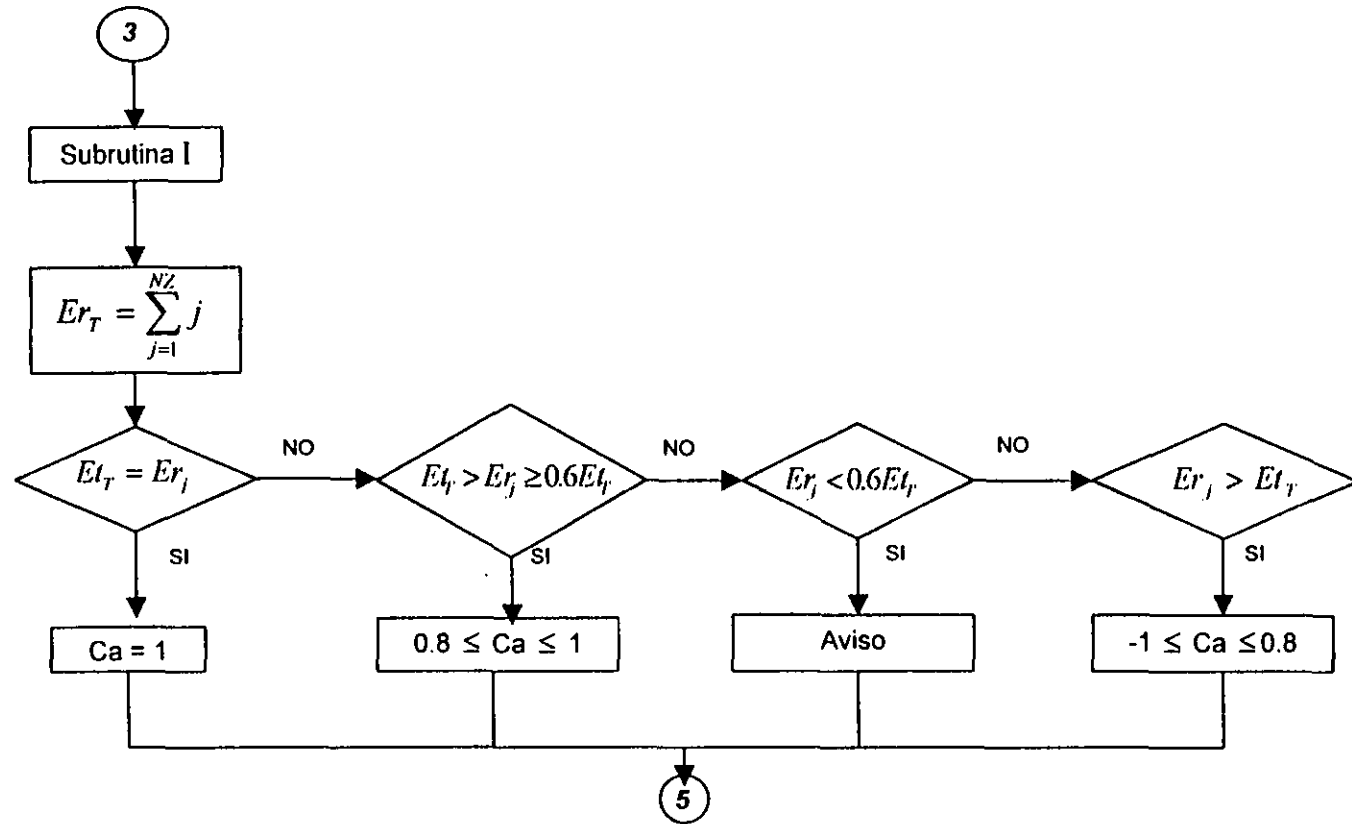


Figura 4.2 Algoritmo de evaluación cuantitativa (continuación).



## CAPÍTULO V

# APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN AL SUBSECTOR INDUSTRIAL DE LA FUNDICIÓN Y MOLDEO DE PIEZAS DE HIERRO Y ACERO

La industria siderúrgica constituye una de las actividades industriales más importantes en la economía mexicana. En 1999 registró una aportación del 2% al PIB<sup>1</sup> total, para el industrial del 6% y para el manufacturero del 8% (CANACERO, 2000). Estadísticas reportadas por la Cámara Nacional del Acero (CANACERO) mencionan que la industria siderúrgica es la principal consumidora de energía eléctrica (10% del total nacional), la segunda de gas natural (21.6%) y es de los principales usuarios de vías ferroviarias (8% del volumen de carga nacional). Así mismo, representa el 6% de las exportaciones no petroleras.

El acero, producto base de la siderurgia, resulta indispensable para obtener una gama de productos de consumo duradero, fabricar bienes de capital, producir equipo militar y construir obras de infraestructura, como redes ferroviarias y modernos edificios.

En los últimos cinco años la producción de acero en México creció 25.9% para ubicarse en un total de 15.3 millones de toneladas, superando en poco más de un millón al nivel alcanzado en 1998 (CANACERO, 2000). De 1995 a 1999 las exportaciones siderúrgicas descendieron 4.8%, al pasar de 6.28 a 5.98 millones de toneladas, debido a la sobreoferta de productos a nivel mundial. Por el contrario, las importaciones registraron en el mismo periodo un aumento del 130.6%, aunque para 1999 revierten la tendencia alcista manifestada hasta 1998. En 1999 las exportaciones siderúrgicas registraron un valor de 3 mil 728 millones de dólares y las importaciones alcanzaron un valor de 1,834 millones de dólares. El principal destino de las exportaciones es EUA (en 1998 más del 70%) y consisten principalmente de semi-productos de hierro y acero, chatarra y productos manufacturados (tubos y perfiles huecos, estufas y calderas) (Bancomext, 2000). Por su parte, los principales proveedores de las importaciones mexicanas son EUA con el 66.8% en 1998 y Japón con el 19.8%, y consisten en productos laminados y manufacturados (tubos y perfiles huecos, tornillos, pernos y tuercas) (Bancomext, 2000).

Es conveniente resaltar que la industria siderúrgica exporta a 115 países, mientras que realiza importaciones de 130. A nivel mundial México ocupa el lugar número 15 como productor de acero y el segundo lugar en América Latina. Desde 1990 hasta 1998, dada la tendencia de globalización de mercados y de la privatización del sector siderúrgico mexicano (noviembre de 1991), se registraron inversiones por 4 mil 430 millones de dólares para fortalecer y modernizar la estructura productiva, orientándose principalmente hacia la consolidación de la capacidad competitiva.

---

<sup>1</sup> Producto Interno Bruto, definido como el valor de los bienes y servicios producidos por el país durante un periodo determinado.

## 5.1 PROCESO SIDERÚRGICO INTEGRAL

La figura 5.1 presenta el diagrama de flujo que integra la producción primaria de hierro y acero, así como las principales actividades para la fabricación de piezas a partir de estos materiales. Así mismo, se presenta la tabla resumen del proceso (tabla 5.1).

### *Fundición primaria de hierro y acero*

**Preparación de materiales.** Esta etapa comprende la preparación de los minerales de hierro a través de tres operaciones principales: fragmentación, que se realiza a través de la trituración y molienda de los minerales hasta alcanzar el tamaño requerido; el cribado, que permite seleccionar el tamaño adecuado de partícula, y la concentración, que consiste en utilizar las propiedades magnéticas o gravimétricas del mineral de hierro para su selección.

**Producción de coque.** En una planta integral este paso es básico. El coque es usado como combustible y es manufacturado por destilación destructiva de carbón mineral o hulla. Esta operación, también llamada "coquización", se lleva a cabo en una serie de hornos en ausencia de oxígeno; los compuestos orgánicos volátiles que se generan del carbón mineral son extraídos y recolectados para ser procesados en plantas adjuntas para su recuperación y recirculación como gas combustible.

**Sinterización.** Una vez producido el coque se lleva al cabo el proceso de sinterizado, el cual convierte el mineral de hierro, cisco de coque, caliza y polvos de hornos en un producto aglomerado, el *sinter*, para su carga en hornos de fundición. Los materiales crudos son algunas veces mezclados con agua para conformar una matriz cohesiva, la cual se coloca sobre unas bandas móviles. Durante el avance de las bandas se aplica calor para llevar a cabo una combustión del coque de la mezcla y una fusión de los materiales presentes, la combustión del coque proporciona calor suficiente (entre 1300 y 1480 °C) para fundir la superficie de la mezcla y aglomerarla.

**Fundición primaria de hierro.** Para la fundición del hierro el horno es cargado con minerales de hierro y/o *sinter*, fluidificantes como caliza, dolomita y *sinter*, y coque como combustible. Estos componentes reaccionan con aire para formar hierro reducido fundido, monóxido de carbono y escoria. El hierro fundido y la escoria son removidos o vaciados por la base del horno periódicamente. La escoria es dirigida a fosas adjuntas para su enfriamiento y disposición final; mientras que el gas generado en el horno es conducido y tratado para su posterior emisión a la atmósfera, alternativamente el gas puede recolectarse para su uso como combustible alterno.

**Producción de acero.** La producción puede realizarse por tres diferentes procesos: oxígeno básico, en horno de arco eléctrico o en horno de hogar abierto. En el proceso de oxígeno básico, el hierro fundido y chatarra de hierro se refinan en un horno mediante la inyección de oxígeno. El oxígeno reacciona con el carbón y otras impurezas para removerlas del metal, la reacción es exotérmica por lo que no es necesario una fuente de calor externa. Durante este proceso se generan grandes cantidades de CO por lo que es necesario pasar la corriente gaseosa por un equipo de control de gases.

El horno de arco eléctrico se usa para producir acero al carbón y aleaciones de acero. En la mayoría de los casos el horno se carga con chatarra de acero, la cual se funde por el calor



que genera una corriente eléctrica. Después de la fundición y refinación el acero y la escoria son colados del horno por volteo.

En un horno de hogar abierto, de igual forma, chatarra de hierro y lingotes de hierro se funden y refinan en acero. El calor para la fundición se proporciona a través de quemadores. La refinación se acompaña por la oxidación de carbón en el metal y la formación de escorias de caliza derivadas de la remoción de impurezas.

Desgasificación al vacío. Posterior a la fundición el material se somete a un vacío para remover las impurezas gaseosas como hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. El vacío es comúnmente llevado a cabo por medio de eyectores de vapor. El vapor cargado de partículas se condensa, generando agua residual que requiere de tratamiento.

Vaciado continuo y formación de lingotes de hierro y acero. El hierro y acero fundido se vacían en moldes de cobre para obtener lingotes de diferentes formas, los cuales son enfriados con agua. Adicionalmente, el agua sirve para remover la costra y otras impurezas de la superficie del hierro y acero.

#### Fabricación de piezas de hierro y acero

Para obtener piezas de hierro, acero y ferroatomadas como productos terminados, los lingotes de hierro, acero y ferroatomadas, así como chatarra de estos mismos materiales, se transforman en tamaños y formas específicos mediante diferentes operaciones, las cuales se presentan en la figura 5.1 y se describen a continuación.

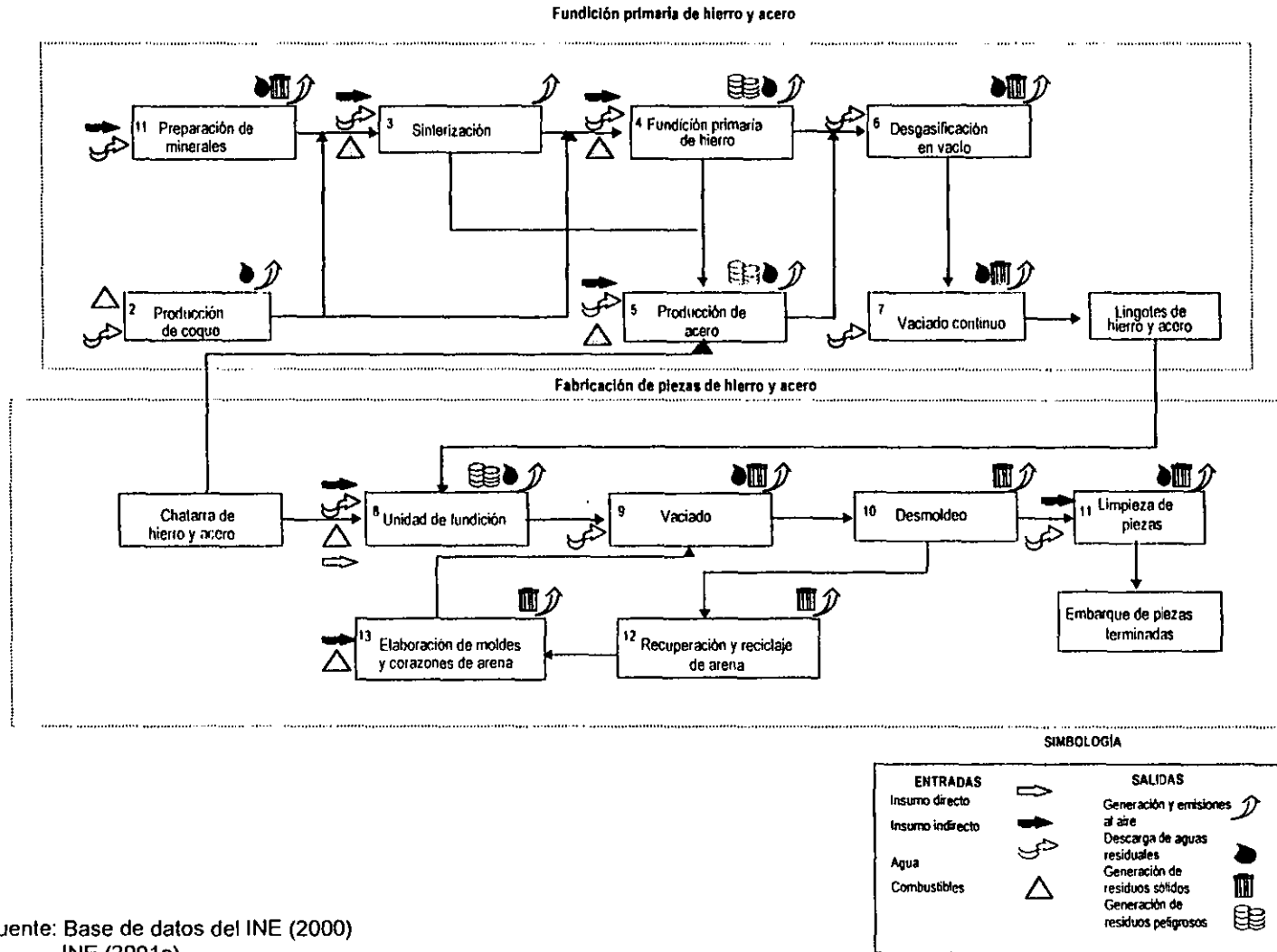
Elaboración de moldes y corazones. Los moldes y corazones permiten conformar la parte externa e interna, respectivamente, de las piezas. Los moldes se preparan de arena húmeda, arcilla y aditivos orgánicos y usualmente se secan con aire caliente. Los corazones se hacen a partir de una mezcla de arena con polímeros orgánicos, una vez que el corazón se moldea se introduce a un horno para su cocción. La arena usada es reciclada pasando por un proceso de limpieza, junto con la proveniente de la operación de desmoldeo.

Manipulación de materia prima. Este paso incluye la transferencia, descarga y almacenamiento de materia prima, así como la limpieza, pesado y mezclado para conformar la carga para el horno de fundición. En específico, la limpieza implica el uso de solventes o de calor para eliminar grasas y aceites de la chatarra.

Fundición. El fundido de los metales se lleva a cabo en hornos de calentamiento con incorporación de diferentes elementos de aleación y sustancias como percloroetileno, tricloroetileno y cianuros para . Para la fundición de fierro comúnmente se emplean hornos de cubilote, hornos de inducción eléctrica y de arco eléctrico. Para el caso de acero se emplean comúnmente hornos eléctricos, tanto de arco como de inducción.

Vaciado. El metal fundido pasa a ollas de vaciado generalmente a través de una grúa viajera donde se deposita en los moldes de arena. Posteriormente, el molde conteniendo el metal se envía al área de enfriamiento, el tiempo de permanencia varía dependiendo del tipo de metal, peso y geometría de la pieza fundida.

### 5.1 Proceso siderúrgico integral



Fuente: Base de datos del INE (2000)  
INE (2001e)

Tabla 5.1 Tabla resumen

Número de punto	Nombre de la maqulharia, equipo o actividad	Entradas				Generación, almacenamiento, emisiones y transferencias			
		Insumo directo	Insumo indirecto	Agua	Combustible	Alre	Aguas residuales	Residuos peligrosos	Residuos sólidos
<b>a) Fundición primaria de hierro y acero</b>									
1	Preparación de minerales		X	X		X	X		X
2	Producción de coque			X	X	X	X		
3	Sinterización		X	X	X	X			
4	Fundición primaria de hierro		X	X	X	X	X	X	
5	Producción de acero		X	X	X	X	X	X	
6	Desgasificación al vacío			X		X	X		X
7	Vaciado continuo			X		X	X		X
<b>b) Fabricación de piezas de hierro y acero</b>									
8	Unidad de fundición	X	X	X	X	X	X	X	
9	Vaciado			X		X	X		X
10	Desmoldeo					X			X
11	Limpieza de piezas		X	X		X	X		X
12	Recuperación y reciclaje de arena					X			X
13	Elaboración de moldes		X		X	X			X

**Desmoldeo.** Al concluir el tiempo de enfriamiento las piezas se envían al área de desmoldeo, donde mediante una máquina giratoria son separadas del molde de arena. Una vez que las piezas son enfriadas comienza la etapa de limpieza.

**Limpieza de piezas.** La limpieza de piezas fundidas se realiza con esmerilado y pulido, así como impactándolas con arena o partículas metálicas (granallado) o mediante el empleo de ácidos inorgánicos, sales fundidas o disolventes halogenados. Concluido este paso las piezas se empaquetan y almacenan.

#### *Fuentes de emisión*

En la tabla 5.2 se presenta la relación entre las fuentes de emisión y tipos de contaminantes emitidos, resultando las siguientes:

- **Fuentes de emisión al aire.** En las operaciones de preparación de minerales, coquización, sinterización, fundición y vaciado se emiten a la atmósfera gases de combustión ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ ) y polvos conteniendo metales pesados como níquel, cromo, plomo, zinc y hierro. En las operaciones de coquización y sinterización se emiten además compuestos aromáticos (benceno, fenol, etc.). Las operaciones de limpieza son otra fuente de emisiones al aire debido a la vaporización de disolventes empleados y de partículas.
- **Fuentes de emisión al agua.** Las emisiones que por su estado líquido se envían a cuerpos de agua, provienen de la totalidad del proceso, estas emisiones consisten en aguas residuales y de enfriamiento conteniendo compuestos aromáticos, metales pesados, aceites y grasas. En las aguas residuales de las operaciones de limpieza y descoste se encuentran además cianuros y disolventes.
- **Fuentes de emisión al suelo.** Las etapas importantes por la generación de residuos sólidos peligrosos son la fabricación de los moldes compuestos de arena y diferentes aglutinantes (moldeo), fundición de metales, vaciado del metal líquido en los moldes, limpieza de piezas fundidas y recirculación de arenas gastadas. Los principales contaminantes generados son escorias, polvos, lodos y materiales gastados de producción.

5.2 Fuentes y tipos de emisión.

FUENTE	TIPO DE EMISIÓN
<b>Fundición primaria de hierro y acero</b>	
Preparación de los minerales de hierro	Polvos
	Aguas residuales
	Desechos sólidos de segregación de minerales
Producción de coque	Gases, polvos y humos de la pulverización y cribado, del precalentamiento en hornos, traslado y carga en hornos, cocción, descarga de hornos, enfriamiento y chimeneas de combustión
	Aguas residuales de enfriamiento directo con agua del coque, agua de lavadores de gases
Sinterización	Gases, polvos y humos del manejo de materias primas, descargas de horno, enfriadores y cribas
	Aguas residuales del enfriamiento del sinter
Fundición primaria de hierro	Gases, polvos y humos del colado del hierro, inyección de oxígeno, contacto del hierro con aire y de la limpieza de gases
	Aguas residuales de limpieza de gases
	Desechos sólidos del traslado de materiales, carga a hornos y colado
Producción de acero	Gases, polvos y humos durante la carga a los hornos, fusión, combustión, vaciado y sistemas de limpieza de gases
	Aguas residuales de lavadores de gases
	Desechos sólidos del traslado de materiales, carga a hornos y colado
Desgasificación en vacío	Gases polvos y humos durante la desgasificación
	Aguas residuales de condensadores
	Sedimentos de la limpieza de las torres de enfriamiento
Vaciado continuo	Gases del colado y rociado de acero
	Aguas residuales por el rociado del acero con agua para su enfriamiento y limpieza
	Desechos sólidos del traslado de materiales
<b>Fabricación de piezas de hierro y acero</b>	
Elaboración de corazones y moldes de arena	Arenas de fundición gastadas o quemadas
Fundición de hierro y acero (incluye chatarra)	Gases, polvos y humos durante la carga a hornos, por fusión y combustión.
	Aguas residuales provenientes de lavadores de gases y del sistema de enfriamiento.
	Polvos, escorias, lodos con metales pesados provenientes del lavador de gases y materiales gastados de producción (piedra caliza, material refractario del horno, ladrillo y arenas de crisoles)
Vaciado	Escorias y restos de metales
Desmoldeo	Arenas gastadas y polvos
Limpieza en baños salinos	Vapores provenientes de la solución salina
	Aguas residuales de baños de limpieza
	Sedimentos generados por limpieza de los baños
Limpieza en baño químico	Vapores durante la limpieza de piezas de acero en fosas de inmersión
	Aguas residuales del cambio de los contenidos del baño químico y enjuagues
	Sedimentos de tanques
Limpieza con disolventes halogenados	Vapores de disolventes
	Aguas residuales de baños de limpieza
	Sedimentos de tanques
Limpieza mediante esmerinado, pulido y/o granallado	Polvos de hierro mezclado, polvos del granallado y del sand-blasteo, residuos metálicos de operaciones de esmerinado, residuos del pulido (pasta y pelusa de tela), cepillos impregnados de pasta y metales

Fuente: INE (2001e)

En el proceso se identifica la emisión de 19 sustancias contaminantes contempladas en el listado de sustancias sujetas a reporte del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). La tabla 5.3 presenta una relación de éstas, señalando si se emplean como materia prima, como material de consumo indirecto o si se generan en el proceso.

Tabla 5.3 Identificación de sustancias contaminantes.

Sustancia	Materia prima	Consumo indirecto	Generación en el proceso	Clave
Antraceno			x	120-12-7
Benceno			x	71-43-2
Bifenil			x	92-52-4
Fenantreno			x	85-01-8
Fenol			x	108-95-2
Naftaleno			x	91-20-03
Piridina			x	110-86-1
Monóxido de carbono			x	630-08-0
Bióxido de carbono			x	124-38-01
Óxidos de azufre			x	*CGC-01
Óxidos de nitrógeno			x	*CGC-02
Óxidos y sales de cromo	x	x		*CCM-03
Óxidos y sales de plomo	x	x		*CCM-06
Óxidos y sales de níquel	x	x		*CCM-08
Óxidos y sales de zinc	x	x		*CCM-10
Tricloroetileno	x	x		79-01-6
Percloroetileno	x	x		127-18-4
Cloruro de metileno		x		75-09-2
Cianuros	x			COC-01
Acido sulfúrico		x		7664-93-9

Fuente: INE, 2001e.

\* Clave de identificación del listado de sustancias según el INE.

La tabla 5.4 presenta la fuente y tipo de emisión para las 19 sustancias identificadas.

Tabla 5.4 Fuentes de emisión.

Sustancia	Fuente	Tipo de emisión
Antraceno, Benceno Bifenil, Fenantreno Fenol, Naftaleno Piridina	Producción de coque y sinterización	Vapores
		Agua residual
Óxidos de zinc, Plomo, Níquel y Cromo	Preparación de minerales, fundición de hierro fundición de acero y Vaciado continuo	Polvos
		Aguas residuales
		Residuos sólidos
Tricloroetileno Percloroetileno Cloruro de metileno	Limpieza	Vapores
		Residuos líquidos
Sales de cromo, Plomo, Níquel, zinc, ácido sulfúrico y cianuros	Descoste en baños salinos y químicos, moldura en frío, limpieza y revestimiento en caliente	Agua residual
		Residuos sólidos
Monóxido de carbono Bióxido de carbono Óxidos de azufre Óxidos de nitrógeno	Producción de coque, sinterización, fundición de hierro y fundición de acero	Gases de combustión

### 5.1.1 Normatividad aplicable

Considerando las diferentes actividades y equipos empleados en el proceso siderúrgico integral, las normas oficiales mexicanas que sobre contaminación atmosférica aplican son: NOM-085-ECOL-1994, específica para procesos de combustión y NOM-043-ECOL-1993 que regula la emisión conducida de partículas.

Por su parte, las descargas de agua residual están reguladas por la NOM-001 si éstas son vertidas a un cuerpo de agua nacional o bien por la NOM-002 si se emiten al drenaje o alcantarillado.

La regulación de la generación de residuos peligrosos compete a la federación por lo que aplica la NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que los hacen peligrosos por su toxicidad al ambiente. De igual forma, aplica NOM-053-ECOL-1993 que establece el procedimiento para determinar la peligrosidad de un residuo y la NOM-054-ECOL-1993 que establece el procedimiento para determinar incompatibilidad entre los residuos.

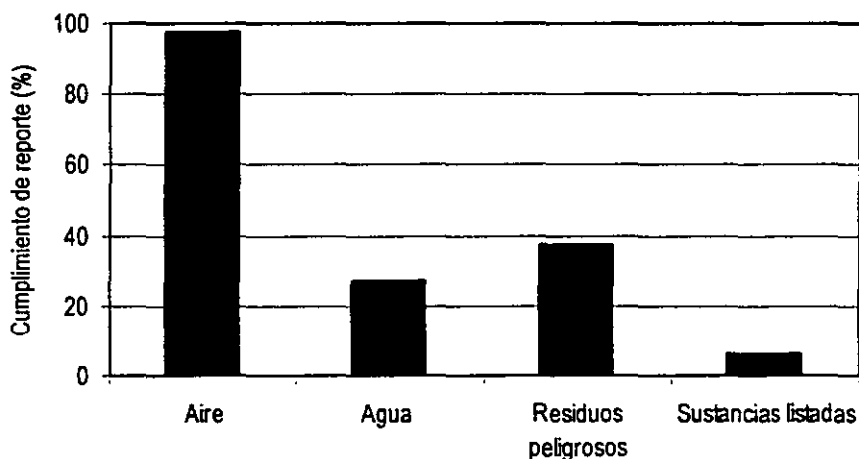
## 5.2 EVALUACIÓN DE LAS CÉDULAS DE OPERACIÓN ANUAL

En la base de datos del programa de captura del Instituto Nacional de Ecología (INE) se tiene el registro de 307 empresas del sector metalúrgico, que reportaron la Cédula de Operación Anual (COA) en el ciclo 99-00, de éstas el subsector de la *fundición y moldeo de piezas de hierro y acero* alberga a 55, que representan el 17% del total. Dicho subsector se seleccionó para aplicar a manera de ejemplo la metodología de evaluación propuesta.

En el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), de la Secretaría de Economía, se tienen registradas 528 empresas dentro del subsector *Fundición de Piezas de Hierro y Acero*, lo que indica que las empresas evaluadas pueden no ser representativas del subsector; sin embargo, es importante recalcar que la finalidad de este ejercicio es probar la metodología para realizar la evaluación y análisis de cada subsector industrial y proporcionar, de forma específica, una primera adecuación de la base de datos y generación de factores de emisión para el subsector bajo estudio.

De las 55 empresas registradas solo 48 corresponden al subsector bajo análisis. El cumplimiento de reporte de las secciones de las 48 cédulas analizadas se presenta en la figura 5.2, donde claramente se observa que la sección de contaminación atmosférica es la que mayoritariamente se reporta (98%), lo que obedece a la obligatoriedad de su reporte, le sigue la sección de generación, tratamiento y transferencia de residuos peligrosos (38%); aprovechamiento de agua y descarga de aguas residuales (27%), y por último la de emisión y transferencia anual de sustancias listadas (6%).

Figura 5.2 Cumplimiento de reporte de las secciones de la COA del subsector industrial fundición y moldeo de piezas de hierro y acero.



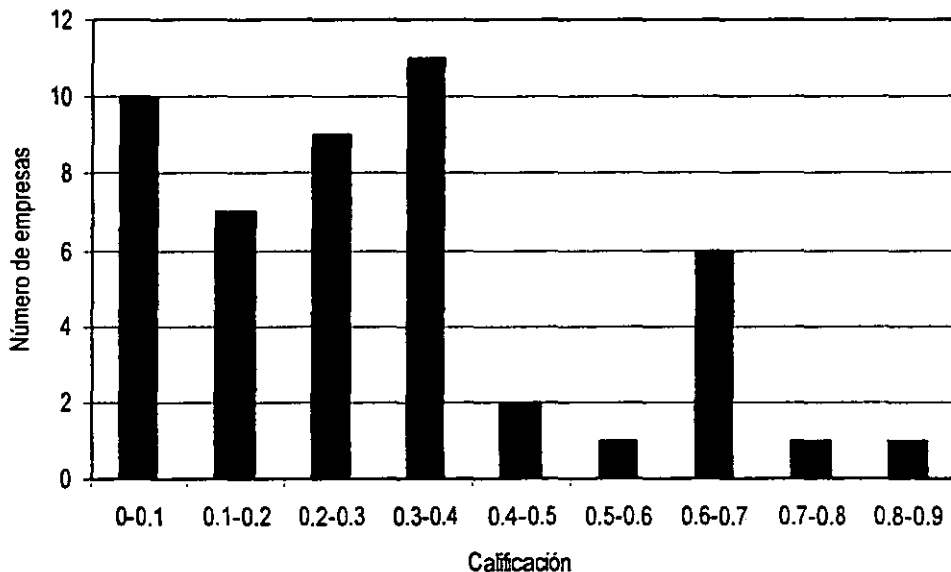


La aplicación de la metodología se divide en dos partes: evaluación cualitativa y cuantitativa.

### 5.2.1 Evaluación cualitativa

Al aplicar la metodología propuesta para la evaluación cualitativa (figura 4.1) se observa que 37 empresas de las 48 evaluadas (77%) obtuvieron calificaciones menores a 0.4 (figura 5.3), lo cual se traduce en un alto incumplimiento de reporte de los contaminantes originados en el proceso, principalmente de los contaminantes emitidos al agua (sección 3) y del empleo o generación de sustancias contempladas en la tabla 12 de la COA (sección 5).

Figura 5.3 Evaluación cualitativa del subsector de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero.



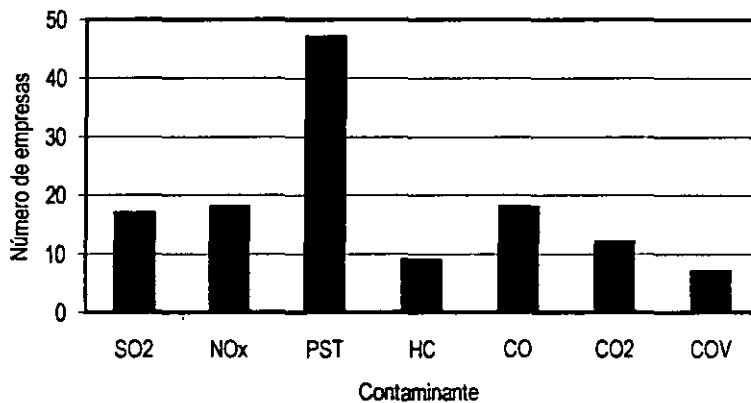
En este apartado, de igual forma, se lleva a cabo un análisis y en consecuencia una adecuación de la base de datos del subsector industrial seleccionado, considerando la revisión de los procesos y la información presentada en las COAs evaluadas.

#### Sección 1 - Contaminación atmosférica –

La emisión de SO<sub>2</sub> en el proceso de fundición de hierro y acero se genera primordialmente por la combustión en los diferentes pasos del proceso, debido a que la materia prima, en este caso hierro y acero, poseen un contenido mínimo de azufre (0.05-0.25%). En la base de datos propuesta el reporte de SO<sub>2</sub> es de carácter obligatorio, según lo señala la bibliografía consultada (USEPA, 1998), aunque su emisión puede ser mínima si se emplean hornos eléctricos. La revisión del proceso en las COAs evidencia que únicamente el 10% de empresas utilizan hornos eléctricos y gas natural en sus procesos

de combustión; el 63% de los establecimientos utilizan hornos de cubilote que emplean carbón como combustible y gas Lp en los procesos de combustión adicionales, y el 27% restante no especifica el tipo de horno de fundición, pero si la quema de combustibles como gas natural, gas Lp y diesel. Por lo anterior, se propone que el factor de obligatoriedad se mantenga como obligatorio (O), advirtiendo que es necesario determinar si en efecto no se emite  $\text{SO}_2$  de los hornos eléctricos, debido a la composición de la chatarra, lo cual permitirá asegurar que el factor sea obligatorio, o bien, cambie a probable.

Figura 5.4 Número de empresas que reportaron contaminantes atmosféricos.



El reporte de  $\text{NO}_x$  es de carácter obligatorio debido a las altas temperaturas de los procesos de combustión que se realizan, lo que explica que su bajo índice de reporte ((38%) (figura 5.4) sea por incumplimiento y no porque no se genere, en consecuencia no se propone modificación alguna al factor de obligatoriedad.

Según la base de datos desarrollada la emisión de  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  es de carácter probable, considerando que el uso de hornos eléctricos restringe su emisión; sin embargo, debido al alto contenido de carbono de los fluidificantes empleados (caliza, dolomita, silica, entre otros) y al contenido de compuestos orgánicos en la chatarra su emisión es inminente, tanto en hornos eléctricos como de cubilote, reverbero o de hogar abierto. Aunado a esta contribución, diferentes empresas incluyen un proceso de combustión adicional al de la fundición ya sea para la elaboración de corazones, pretratamiento de la chatarra o para el área de servicios, lo que genera de igual forma la emisión de estos gases, por consiguiente se propone que su factor de obligatoriedad cambie de P a O, pese a que su reporte en este ciclo que se revisa sea relativamente bajo (38% y 25%, respectivamente) (figura 5.4).

El principal contaminante que se genera en el proceso siderúrgico son las partículas (tabla 5.1), en específico, para la fabricación de piezas de hierro y acero su emisión se genera en la manipulación del material, principalmente chatarra; durante la elaboración de moldes y corazones, en el proceso de fundición, vaciado, desmoldeo y en la limpieza. En la figura 5.4 se observa que la mayoría de las empresas evaluadas reportaron PST (98%), lo cual apoya el carácter de obligatoriedad de dicho contaminante.

La emisión de COVs en este proceso se condiciona al empleo de solventes para la eliminación de grasas y aceites en la chatarra o para el pintado de las piezas como un tratamiento final. Debido a que no todas las empresas pintan las piezas y a que no se especifica si se da un pretratamiento a la chatarra, así como al bajo índice de reporte (15%) (figura 5.4), la emisión de COVs se seguirá considerando como probable, por tanto, no se modifica la base de datos con respecto a este contaminante.

Dados los procesos de combustión en este subsector la emisión de HC no quemados es un evento ligado al proceso, no obstante, considerando que ésta se condiciona a la eficiencia de la combustión, mantenimiento del equipo y tipo de combustible, en algunos casos puede ser mínima o indetectable, por consiguiente se planteó como probable (P) con un valor de 0.5. Sin embargo, en vista de que alrededor del 63% de las empresas emplean hornos de cubilote, cuya operación genera mayor cantidad de contaminantes, principalmente por la quema de carbón y la antigüedad del equipo, se propone cambiar el valor de P de 0.5 a 0.7, no obstante, el bajo índice de su reporte (figura 5.4).

En la tabla 5.5 se presenta la propuesta de los nuevos factores de obligatoriedad para contaminantes atmosféricos, resaltando que para SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e HC no quemados se proponen cambios al factor originalmente propuesto.

Tabla 5.5 Nuevos factores de obligatoriedad propuestos para contaminantes atmosféricos.

	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		Partículas		HC no quemados		CO		CO <sub>2</sub>		COVs	
	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.	Ant.	Prop.
Factor de obligatoriedad	O	SM	O	SM	O	SM	P	P	P	O	P	O	P	SM
Valor	1.0	SM	1.0	SM	1.0	SM	0.5	0.7	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	SM

Ant., anterior; Prop., propuesto; SM, sin modificación.

### Sección 3 – Contaminación del agua –

El reporte de contaminantes emitidos al agua es deficiente tanto por el número reducido de empresas que reportan (13 empresas) como por su incompleto llenado. En el diagrama de flujo de la figura 5.1, en específico para la fabricación de piezas de hierro y acero, se advierten dos puntos de emisión de aguas residuales, uno corresponde a la fundición de chatarra y en algunas ocasiones de lingotes de hierro y acero, donde las aguas contienen metales pesados como zinc, níquel, plomo y cromo, producto del lavado de la corriente gaseosa, emanada del horno, por un lavador de gases. El segundo punto de emisión corresponde a los diferentes tratamientos de limpieza de las piezas fundidas, en este caso se reporta la emisión de níquel, cianuro y zinc. Por lo anterior, el reporte de estos contaminantes es de carácter obligatorio, lo cual se corrobora con el alto índice de reporte de los mismos (figura 5.5), a excepción del níquel que presenta un menor reporte (8 empresas que representan el 65%). La presencia de sólidos suspendidos y sedimentables en el agua residual responde a la gran cantidad de material particulado que se genera en el proceso y en específico a la escoria, el primero de éstos es de reporte obligatorio y el segundo de probable, según lo señala la bibliografía (USEPA, 1995d); no obstante, debido a que las 14 empresas analizadas reportaron ambos contaminantes se propone

mantener la obligatoriedad para los sólidos suspendidos y cambiar de probable a obligatorio a los sedimentables.

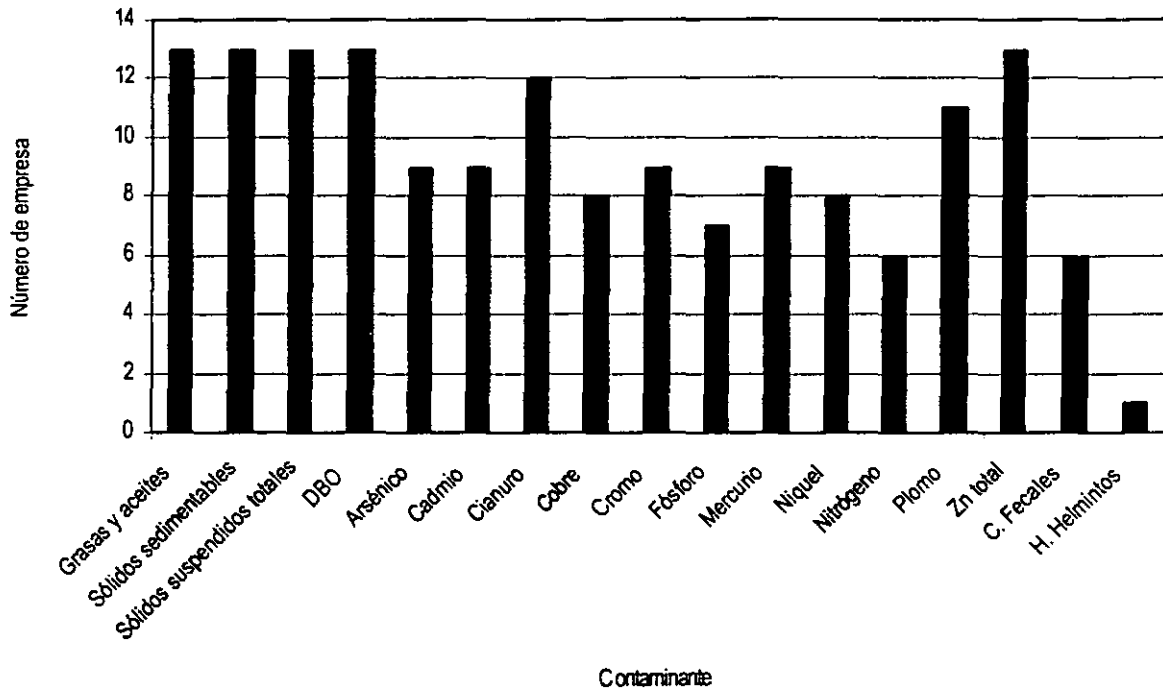
Con respecto a las grasas y aceites su emisión se deriva principalmente de las actividades de mantenimiento de la planta. Como se observa en la figura 5.5 el 100% de las empresas estudiadas los reportan, en consecuencia se mantiene su reporte como obligatorio.

La presencia de arsénico, cadmio, cobre, fósforo, mercurio y nitrógeno en las aguas residuales responde a la diferente composición y calidad de la chatarra, así como a las variantes que se pueden presentar en el proceso, especialmente en el tipo de limpieza de las piezas fundidas, por ende su emisión es de carácter probable con un valor de 0.5. En este caso, no se propone cambio.

Ahora bien, los contaminantes con factor de obligatoriedad N, según la base de datos propuesta son DBO, coliformes fecales y huevos de helmintos. La detección de éstos en las aguas residuales del proceso bajo estudio se explica por la conjunción de aguas de servicio con las de proceso y por la concentración de fondo del agua utilizada (en el caso de DBO). Para estos se propone cambiar su factor de N a P con un valor de 0.5. Es conveniente mencionar que el mezclado de aguas de proceso con las de servicios es una actividad que tiende a disminuir debido a lo costoso que resulta tratar grandes volúmenes de agua innecesariamente, ya que el agua de servicios puede ser tratada independientemente por plantas de tratamiento municipales o estatales.

Por último, pese a que no se reportó materia flotante en las COAs analizadas, se sugiera disminuir el valor de P de 0.5 a 0.4.

Figura 5.5. Número de empresas que reportaron contaminantes al agua.



En la tabla 5.6 se presenta la propuesta del factor de obligatoriedad para contaminantes emitidos al agua.

#### Sección 4 – Residuos peligrosos-

Las etapas importantes por la generación de residuos en el proceso son la fabricación de los moldes compuestos de arena y diferentes aglutinantes (moldeo), la fundición de los metales, el vaciado del metal líquido en los moldes, la limpieza de las piezas fundidas y la recirculación de las arenas gastadas (figura 5.1). En la fundición se generan escorias y pedacería de material refractario. En la fabricación de los moldes de arena se generan restos de material que contienen aglutinantes no endurecidos todavía. Durante el vaciado se generan escorias y restos de metales. En el desmoldeo se generan arenas gastadas, y finalmente en la limpieza se generan polvos de hierro mezclado, polvos del granallado y del *sand-blasteo*, residuos metálicos de operaciones de esmerilado, residuos del pulido (pasta y pelusa de tela), cepillos impregnados de pasta y metales.

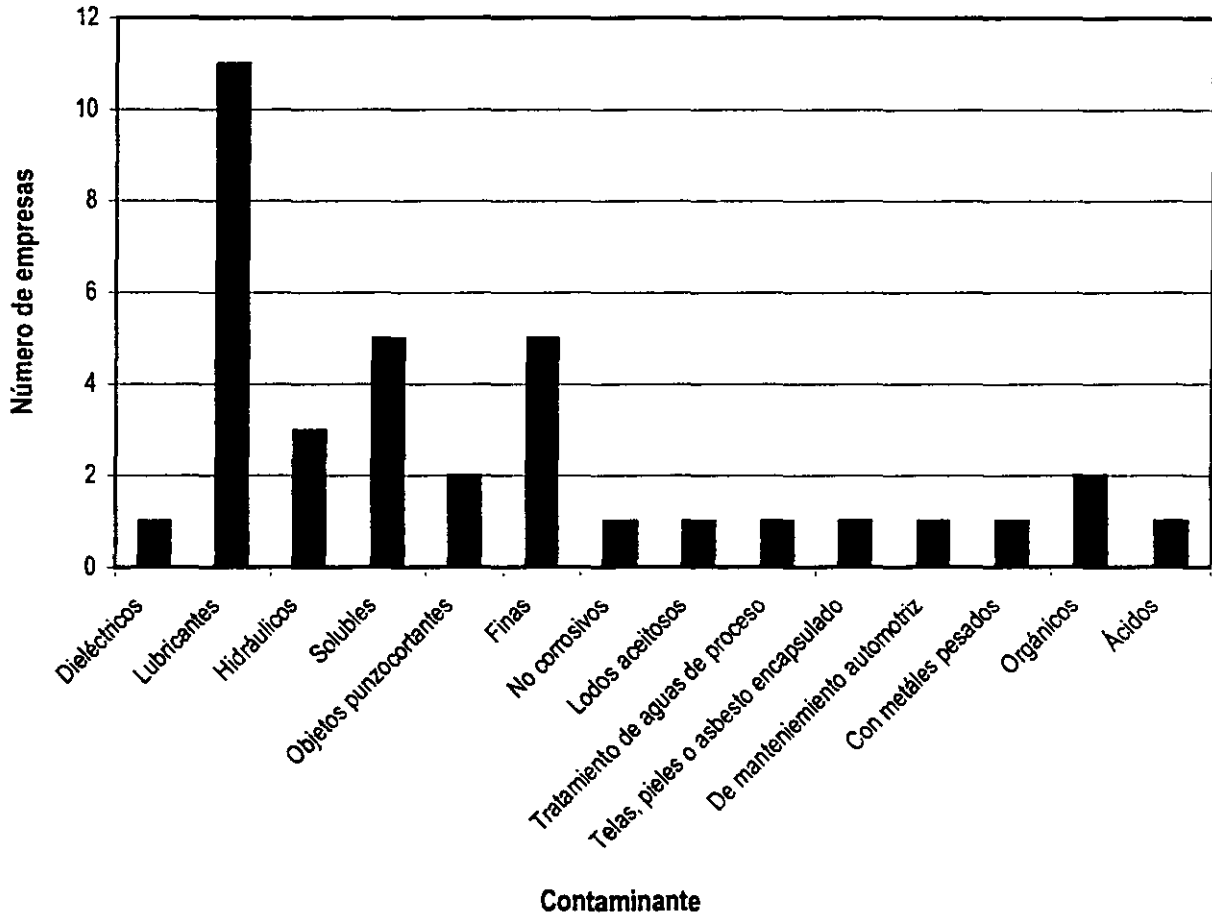
Como se observa en la figura 5.2 un 35% de las empresas reportan residuos peligrosos (18 empresas). La figura 5.6 muestra el número de empresas que reportaron residuos considerados como peligrosos según la NOM-052. En general, se observa un reporte bajo a pesar de que la

Tabla 5.6 Nuevos factores de obligatoriedad propuestos para contaminantes emitidos al agua.

Contaminante	Anterior		Propuesto	
	Factor obligatoriedad	Valor	Factor obligatoriedad	Valor
Grasas y aceites	O	1.0	O	1.0
Materia flotante	P	0.5	P	0.4
Sólidos sedimentables	P	0.5	O	1.0
Sólidos suspendidos totales	O	1.0	O	1.0
DBO	N	0.0	P	0.5
Arsénico	P	0.5	P	0.5
Cadmio	P	0.5	P	0.5
Cianuro	O	1.0	O	1.0
Cobre	P	0.5	P	0.5
Cromo	O	1.0	O	1.0
Fósforo	P	0.5	P	0.5
Mercurio	P	0.5	P	0.5
Niquel	O	1.0	O	1.0
Nitrógeno	P	0.5	P	0.5
Plomo	O	1.0	O	1.0
Zn total	O	1.0	O	1.0
C. Fecales	N	0.0	P	0.5
H. Helmintos	N	0.0	P	0.5

generación de contaminantes con factor de obligatoriedad O esta claramente documentada. Posiblemente esto se derive de la falta de obligatoriedad del reporte de esta sección. Por tal motivo en esta primer análisis no se propone ningún cambio a excepción del residuo denominado como objetos punzocortantes que se sugiere cambie de N a P con un valor de 0.2 debido a su reporte por ciertas empresas.

Figura 5.6 Número de empresas que reportaron residuos peligrosos.



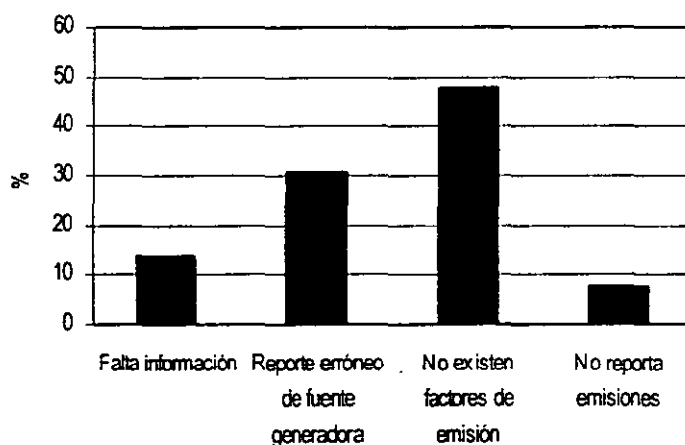
Sección 5 – Sustancias listadas-

Únicamente tres empresas reportan algunas de las sustancias listadas en la tabla 12 de la COA, entre las que se encuentran manganeso, ácido sulfúrico, compuestos de cromo, compuestos de níquel y óxido nítrico. Con esta escasa información no es posible fundamentar una propuesta para modificar la base de datos de sustancias listadas.

## 5.2.2 Evaluación cuantitativa

De las 48 empresas identificadas bajo el subsector fundición y moldeo de piezas de hierro y acero únicamente 13 se evalúan cuantitativamente. Las causas por las cuales no es posible evaluar a las 48 se presentan en la figura 5.7. Como se observa el principal problema radica en la carencia de factores de emisión (43%); los equipos para los cuales se reportan emisiones pero no se cuenta con factor de emisión son: granalladoras, hornos de precalentamiento, hornos de crisol, secadores, hornos de curado, lijadoras y recuperadoras de arena, y dentro de las actividades reportadas están el vaciado, enfriamiento, lavado, esmerilado y desmoldeo.

Figura 5.7 Frecuencia de errores encontrados durante la evaluación cuantitativa.



La siguiente causa es el reporte erróneo de la fuente generadora (28%) lo que impide seleccionar un factor de emisión. De entre los casos más frecuentes se puede mencionar el reporte de equipo de control como equipo generador de contaminantes (por ejemplo, extractor de polvos en lugar de granalladora); incongruencia entre puntos de generación y puntos de emisión; reporte de equipo generador o actividad incompleta (por ejemplo, *horno*), con claves o nombres poco comunes (por ejemplo, horno CV1-2); reporte de concentraciones en lugar de emisiones (por ejemplo, ppm o kg/m<sup>3</sup> en lugar de ton/año) y reporte erróneo de unidades (por ejemplo, el reporte de piezas en lugar de toneladas de producción).

La falta de información constituye otro problema para la evaluación, su porcentaje de aportación es del 13% y fundamentalmente se refiere al no reporte de insumos, ni de producción, datos indispensables para la aplicación de factores de emisión. Finalmente, la carencia de reporte de emisiones es otra de las causas identificadas en la evaluación con 7% de aportación.

Las calificaciones de la evaluación cuantitativa para las 13 empresas consideradas se muestran en la tabla 5.7, junto con el contaminante evaluado.

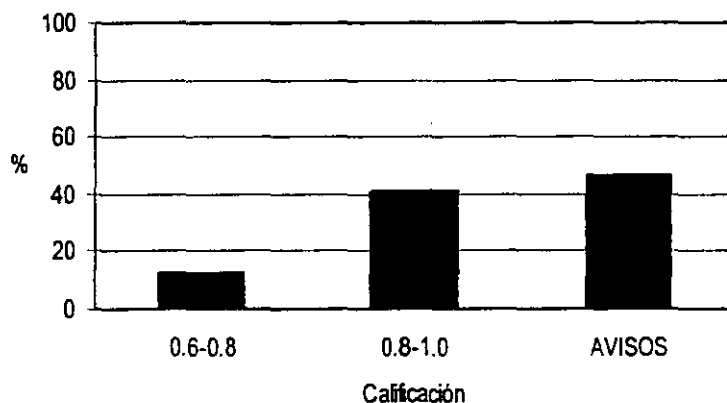


Tabla 5.7 Calificaciones cuantitativas del subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero.

Establecimientos industriales	Calificación (0.0-1.0)	Contaminantes evaluados
5	1.0	Partículas, CO y SO <sub>2</sub>
2	1.0 (con un aviso)	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO y partículas
1	0.8	CO y SO <sub>2</sub>
1	0.6	Partículas
2	Sin calificación (dos avisos)	Partículas y CO
2	Sin calificación (dos avisos)	Partículas

La distribución de las calificaciones se muestra gráficamente en la figura 5.8. Los avisos indican el reporte de valores extremos, ya sea muy por arriba o muy por debajo de la emisión teórica, lo que conlleva a inferir que la información puede no ser confiable. En contraposición, las calificaciones iguales a uno indican similitud entre la emisión teórica y la reportada (la emisión reportada

Figura 5.8 Evaluación cuantitativa del subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero



difiere en un 20% o menos con respecto a la teórica). Con respecto a este último punto, la tabla 5.8 presenta factores de emisión para la fundición de piezas de hierro y acero de la USEPA que evidencian tal similitud, siendo posible advertir una semejanza con los equipos y actividades de México.

Tabla 5.8 Factores de emisión

Equipo o actividad	Contaminante	Factor de emisión	Factor de aplicabilidad	Tamaño muestra
Horno de arco eléctrico	Partículas	$2.0 \cdot 10^{-3} - 0.02$ ton/ton	0.4	2
Horno de cubilote	SO <sub>2</sub>	$6.0 \cdot 10^{-4} \cdot S^a$ ton/ton	0.4	1
	Partículas	$6.9 \cdot 10^{-3}$ ton/ton	0.4	1
Horno de cubilote con precipitador electrostático como control	Partículas	$7.0 \cdot 10^{-4}$ ton/ton	0.4	1
Horno de cubilote con casa de bolsas como control	Partículas	$3.0 \cdot 10^{-4}$ ton/ton	0.4	1
Horno de cubilote con lavador tipo venturi como control	Partículas	$1.5 \cdot 10^{-3}$ ton/ton	0.4	1
Caldera > 300 y <3000 cc, GLP como combustible	SO <sub>2</sub>	$1.8 \cdot 10^{-3} \cdot S^a - 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot S^b$ ton/ton	0.5	1
	NO <sub>x</sub>	$2.28 \cdot 10^{-3} - 2.52 \cdot 10^{-3}$ ton/ton	0.6	1
	CO	$2.28 \cdot 10^{-3} - 2.52 \cdot 10^{-3}$ ton/ton	0.6	1

Fuente: USEPA (1998).

<sup>a</sup> S= % de azufre en coque

<sup>b</sup> S= % de azufre en gas Lp

El factor de emisión para el horno eléctrico (tabla 5.8) se expresa como un intervalo, debido a que en el formato de la COA no se especifican las condiciones en las que se encuentra la chatarra, es decir, si esta o no sucia. Debido a la amplitud del rango (los factores difieren en un orden de magnitud) la probabilidad de que una emisión reportada se ubique dentro de éste es alta, por tal motivo este factor de emisión puede o no reflejar dicha similitud, ya que no se puede definir si es por la semejanza del equipo y su funcionamiento o es por el rango mismo; por lo tanto, no debe incluirse en la tabla 5.8.

Los factores de emisión para la combustión de gas Lp en calderas (capacidad entre 300 y 3000 cc) se expresan de igual forma en un rango, debido a que incluyen al gas propano y butano; no obstante, la diferencia entre el límite inferior y el superior es mínima, por lo tanto, se mantienen como un indicador de similitud.

La importancia de identificar a los factores de emisión de la USEPA que adviertan tal similitud, radica en la posibilidad de definir la confiabilidad de su empleo sobre la base del número de veces que se presenten y no sobre los criterios de confiabilidad originalmente sugeridos, es decir, si se identifica un factor de emisión que evidencia semejanza con los procesos industriales nacionales su confiabilidad podrá modificarse conforme se disponga de mayor información recopilada en la COA a través de los subsecuentes ciclos de reporte o conforme aumente el número de establecimientos que la reportan.

Otra de las finalidades del programa de evaluación de la COA implica la generación de factores de emisión nacionales a partir de la información reportada. En este sentido, se desarrollan factores de emisión para el equipo o actividad para el cual se reportan

emisiones que no pudieron ser evaluadas debido a que no existen factores de emisión o por la falta de información para aplicarlos.

Para generar un factor de emisión es necesario relacionar la emisión reportada con una variable que intervenga directamente en la generación del contaminante o que indique la tasa de generación del mismo. En este caso se utilizan dos variables: producción de hierro, ferroaleaciones o acero, o la cantidad de chatarra de hierro o acero procesada; la primera hace alusión a la tasa de generación o emisión de contaminantes, ya que la producción está relacionada con la capacidad y tiempo de operación del equipo, en el cual finalmente se generan los contaminantes; la segunda además de mostrar relación con la generación de contaminantes influye directamente en el tipo de éstos, sobre la base de su composición y estado, por ejemplo si contiene metales pesados o está impregnada con grasa y aceite. No obstante, en algunos casos no se contó con información de estas variables, por lo que se utilizó el número de trabajadores de la planta bajo el supuesto de que éste puede hacer inferencia a su tamaño e indirectamente a su producción.

Los factores de emisión que se incluirán en la base de datos se obtendrán dividiendo la emisión reportada entre la producción, cantidad de chatarra o número de trabajadores. Los factores generados para equipos se muestran en la tabla 5.9 y para actividades en la tabla 5.10. El total de factores generados suma 54, 34 corresponden a equipo y 20 a actividades.

Tabla 5.9 Factores de emisión propuestos para equipos empleados en la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero.

Equipo	Equipo de control	Contaminante	Factor de emisión	Unidades	Tamaño muestra (No. de empresas)	Factor de aplicabilidad asignado
Secador	Otro tipo de lavador de gases	Partículas	1.23E-05	ton/ton de producción de ferroaleaciones	1	0.01
		CO	2.46E-05	ton/ton de acero	1	0.01
Horno de curado		Partículas	3.96E-05	ton/trabajador	1	0.01
		CO	1.06E-04	ton/trabajador	1	0.01
		NO <sub>x</sub>	2.64E-05	ton/trabajador	1	0.01
Quemador Kolene	Cámara de sedimentación húmeda	Partículas	5.47E-03	ton /ton producción	1	0.01
		CO	1.17E-02	ton/ton de acero	1	0.01
		CO <sub>2</sub>	4.39E-01	ton/ton de acero	1	0.01
Ralanadora		Partículas	2.54E-04	ton/ton chatarra Fe	1	0.01
Granalladora	Colector de bolsas	Partículas	1.80E-04	ton/ton producción Fe	2	0.01
Granalladora	Colector de bolsas	Partículas	3.13E-04	ton/ton chatarra de acero	5	0.01
Granalladora	Otro tipo de lavador de gases	Partículas	3.38E-04	ton/ton chatarra de acero	1	0.01
Quemador de fosfatizado	Otro tipo de lavador de gases	Partículas	2.58E-03	ton/ton chatarra de acero	1	0.01
Horno de cubilote		Partículas	1.47E+00	ton/ton chatarra Fe	2	0.01
Horno de cubilote	Ciclón	Partículas	3.56E-07	ton/ton chatarra Fe	1	0.01
Horno de cubilote	Reducción selectiva catalítica	Partículas	6.27E-04	ton/ton chatarra Fe	1	0.01
Horno de cubilote	Colector de bolsas	Partículas	4.40E-04	ton/ton producción Fe	1	0.01
		SO <sub>2</sub>	3.34E-04	ton/ton producción Fe	1	0.01
		CO	1.14E-02	ton/ton producción Fe	1	0.01
		CO <sub>2</sub>	3.03E-01	ton/ton producción Fe	1	0.01
		NO <sub>x</sub>	9.29E-06	ton/ton producción Fe	1	0.01

Tabla 5.9 Factores de emisión propuestos para equipos empleados en la fundición y moldeado de piezas de hierro y acero (continuación).

Equipo	Equipo de control	Contaminante	Factor de emisión	Unidades	Tamaño muestra (No. empresas)	Factor de aplicabilidad asignado
Horno de cubilote	Otro tipo de lavador de gases	Partículas	3.74E-04	ton/ton producción Fe	1	0.01
Horno de cubilote	Ciclón húmedo	Partículas	2.21E-02	ton/ton producción Fe	1	0.01
		SO <sub>2</sub>	6.57E-02	ton/ton producción Fe	1	0.01
		NO <sub>x</sub>	9.75E-03	ton/ton producción Fe	1	0.01
Precalentador	Sin control	SO <sub>2</sub>	1.64E-02	ton/ton de acero	1	0.01
		CO	1.22E-02	ton/ton de acero	1	0.01
		CO <sub>2</sub>	7.37E-01	ton/ton de acero	1	0.01
Horno de arco eléctrico	Colector de bolsas	CO	7.96E-03	ton/ton de chatarra	2	0.01
		CO <sub>2</sub>	5.68E-02	ton/ton de chatarra	3	0.01
		COVs	5.26E-05	ton/ton de chatarra	1	0.01
Horno de recalentamiento	Lavador tipo venturi	CO	3.24E-04	ton/ton de chatarra	2	0.01
		CO <sub>2</sub>	8.74E-02	ton/ton de chatarra	2	0.01
		COVs	8.53E-05	ton/ton de chatarra	2	0.01

Tabla 5.10 Factores de emisión propuestos para actividades realizadas en la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero.

Actividad	Equipo de control	Contaminante	Factor de emisión	Unidades	Tamaño muestra (No. empresas)	Factor de aplicabilidad asignado
Descarga de arena	Filtros de superficie extendida	Partículas	7.43E-06	ton/ton producción	1	0.01
Soplado de corazón		Partículas	6.14E-06	ton/ton producción	1	0.01
Pintado y secado		Partículas	3.75E-05	ton/ton producción	1	0.01
Preparación de arena	Colector de bolsas	Partículas	1.06E-05	ton/ton producción	1	0.01
Desmoldeo y retorno de arenas	Colector de bolsas	Partículas	3.40E-05	ton/ton producción	1	0.01
Limpieza	Colector de bolsas	Partículas	4.34E-06	ton/ton producción	1	0.01
Vaciado		Partículas	1.66E-05	ton/ton producción	1	0.01
Vaciado	Otro tipo de lavador de gases	Partículas	8.42E-04	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Molienda y cribado	Colector de bolsas	Partículas	1.78E-03	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Recuperación y enfriado	Colector de bolsas	Partículas	1.86E-03	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Recuperación de arena	Colector de bolsas	Partículas	9.82E-06	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Enfriado	Colector de bolsas	Partículas	2.62E-05	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Almacenamiento de arena recuperada	Colector de bolsas	Partículas	1.90E-04	ton/ton chatarra acero	1	0.01
Esmerilado	Precipitador electrostático	Partículas	1.11E-05	ton/ton producción Fe	1	0.01
Pintado	Filtros de superficie extendida	Partículas	3.79E-06	ton/ton producción Fe	1	0.01
Curado		Partículas	3.67E-06	ton/ton producción ferroaleaciones	1	0.01
Maquinado		COVs	1.02E-05	ton COV/ton de chatarra de acero	1	0.01
Lavado de ensambles		COVs	2.94E-05	ton COV/ton de chatarra de acero	1	0.01
Pintado de ensambles		COVs	8.34E-05	ton COV/ton de chatarra de acero	1	0.01

Como se refleja en el factor de aplicabilidad propuesto la confiabilidad de los factores de emisión es muy baja debido a que el tamaño de la muestra es mínimo. Sin embargo, se pretende que conforme aumente el tamaño de muestra el valor del factor de aplicabilidad ascienda hasta que se llegue a un 100% de confiabilidad. El algoritmo planteado en el capítulo IV considera la generación de factores de emisión y la asignación del factor de aplicabilidad de acuerdo al tamaño de la muestra.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

Con relación al reporte de emisiones contaminantes industriales:

- Debido a que la Cédula de Operación Anual (COA) se instrumentó para integrar la información de las emisiones generadas por las actividades industriales, resulta imprescindible contar una metodología que evalúe y asegure la calidad de su información.

Con relación a la metodología de evaluación:

- La metodología propuesta evalúa el completo llenado de la COA (evaluación cualitativa) y la exactitud de reporte (evaluación cuantitativa) con la finalidad de contribuir en la integración de un registro de emisiones confiable.
- La evaluación cualitativa examina los campos de la COA que deben ser llenados según los procesos industriales reportados en bibliografía.
- La evaluación cuantitativa compara las emisiones reportadas con valores teóricos calculados a partir de factores de emisión.
- El empleo de factores de emisión para la estimación de los valores teóricos se fundamenta en su simplicidad de uso, costo mínimo y fácil acceso.
- En el diseño se introduce un factor de obligatoriedad para la evaluación cualitativa y un factor de aplicabilidad para la cuantitativa, los cuales permiten adecuar y mejorar las bases de datos originales.
- El factor de obligatoriedad, que señala si un contaminante es siempre, nunca o posiblemente emitido, al adquirir diferentes representaciones y valores brinda la posibilidad de modificar la base de datos cualitativa conforme se tenga mayor conocimiento de los procesos industriales nacionales reportados en la COA.
- Por su parte, el factor de aplicabilidad, que indica la confiabilidad de los valores teóricos calculados, puede modificarse externamente al desarrollarse factores de emisión nacionales o internamente mediante el procesamiento estadístico de la información de la COA.
- Se incluye la generación de factores de emisión nacionales elaborados a partir de la información de la COA, cuya confiabilidad debe asignarse mediante criterios estadísticos.



- Dentro de esta metodología se contempla la presentación de avisos que advierten sobre discrepancias entre lo reportado y lo establecido en las bases de datos, de tal forma que se puedan identificar puntos susceptibles a una modificación, o bien, detectar errores en la información reportada por los industriales.
- La metodología desarrollada podrá ser programada como un sistema experto capaz de generar información para complementar, mejorar y actualizar las bases de datos originales.
- Permite identificar procesos industriales que requieren el desarrollo de factores de emisión al evidenciar la falta de éstos para evaluar la emisión de equipos o actividades específicas. Así mismo, permite identificar factores de emisión que requieren una adaptación debido a las discrepancias encontradas entre las emisiones reportadas y las calculadas teóricamente.

Con relación a la aplicación de la metodología de evaluación al subsector industrial de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero:

- La evaluación cualitativa evidenció un alto índice de incumplimiento en el reporte de emisiones, principalmente de los contaminantes emitidos al agua y de las sustancias incluidas en el RETC.
- La revisión de los contaminantes reportados permitió realizar una adecuación de la base de datos para el subsector, mediante la propuesta de modificaciones a los factores de obligatoriedad y sus valores.
- El reporte erróneo de la información se identificó como la principal causa por la cual no se pudo realizar la evaluación cuantitativa de las 48 cédulas revisadas.
- Se identificaron factores de emisión que reflejan una posible similitud entre las condiciones en las cuales fueron desarrollados y las condiciones de operación en el país, lo que se considera como una forma de validación de la aplicación de los factores de emisión de la USEPA para México.
- Se generaron 54 factores de emisión con baja confiabilidad (0.01), 34 corresponden a equipo y 20 a actividades.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar a la brevedad la programación computacional de la metodología de evaluación propuesta.
- Con la finalidad de generar mayor información es preciso que la metodología se aplique a los reportes de años anteriores (98, 99 y 00).

- Resulta de gran importancia informar al industrial sobre los errores cometidos en el llenado de la COA, con el fin de mejorar el mismo en los siguientes ciclos de reporte, lo cual disminuirá las obstrucciones para realizar la evaluación.
- Es deseable que el Instituto Nacional de Ecología designe a personal específico para el análisis de la información generada en la evaluación.
- Es necesario realizar estudios encaminados al desarrollo de factores de emisión.
- Es preciso realizar estudios para adaptar factores de emisión de la USEPA, iniciando por aquellos que presenten mayor discrepancia con los valores reportados por los industriales.
- Para dar cumplimiento a los dos puntos anteriores es necesario que se continúe con el estudio de subsectores industriales específicos como se ejemplifico en este trabajo.
- Dado el bajo índice de reporte de las secciones establecidas como opcionales se recomienda promover su llenado con ejemplos de casos reales que demuestren los beneficios económicos y ambientales que puede proporcionar el uso de la información de la COA. Así como extender la obligatoriedad a todas las secciones, principalmente a la sección V que provee de información al RETC
- Sobre la base de que solo el 10% de las industrias del subsector de la fundición y moldeo de piezas de hierro y acero reportaron la COA en el ciclo 99-00, se recomienda que las autoridades encargadas de vigilar el cumplimiento del reporte, en este caso PROFEPA, realice esfuerzos coordinados con la Dirección General de Gestión e Información Ambiental del INE para dar cumplimiento estricto a este trámite, esto con la finalidad de proporcionar mayor robustez a la información generada en la evaluación.
- Como utilidad adicional se recomienda que las calificaciones obtenidas de la evaluación de la COA se empleen como un complemento de un indicador de desempeño ambiental de las industrias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alter S. (1992). *Information Systems: A Management Perspective*. Addison-Wesley. E.U.A. 848 pp.
- BANCOMEXT (2000). *Notas técnicas, Industria Siderúrgica*. México. [http://www.mexico-businessline.com/espa/sectorial/notas\\_tec\\_siderurgia/nota\\_sider.html](http://www.mexico-businessline.com/espa/sectorial/notas_tec_siderurgia/nota_sider.html).
- Begoña M. (1989). *Estructuras de datos e introducción a bases de datos*. Limusa. México. 198 pp.
- Burch J.G. y Grudnitski G. (1986). *Information Systems Theory and Practice*. Editorial John Wiley & sons. 4ª Edición. E.U.A.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999a). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Fundición*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. Publicación en proceso. México.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999b). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Químico*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. Publicación en proceso. México.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999c). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Galvanoplastia*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. Publicación en proceso. México.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999d). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Metalmecánico (hierro y acero)*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. Publicación en proceso. México.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999e). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Pinturas*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. Publicación en proceso. México.
- CAM y TÜV Arge-Mex (1999). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Metalurgia*. Comisión Ambiental Metropolitana y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV Arge-Mex. México.
- CANACERO (2000). *Perfil General de la Industria Siderúrgica*. Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero. México. <http://www.canacero.org.mx/perfind.asp>

- 
- CNUMAD (1992). Agenda XXI. Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo. Brasil.
  - Czysz, W., Denne, A., Rump, H., Schneider, W., Staudte, E., Supperl, W., Blitz, E., Böhnke, B., Doetsch, P., Dreschmann, P., Pöppinghaus, K., Siekmann, K., Thomas, S. (1991). Manual de Disposición de Aguas Residuales: Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Tomo I y II. Editado por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Perú.
  - Especialistas Ambientales (2000). Definición de prioridades para el reforzamiento de capacidades de gestión ambiental en México. México. En trámite de publicación.
  - Giarratano J. y Riley G. (1994). Expert Systems: Principles and Programming. International Thomson Publishing. 2ª Edición. E.U.A. 644 pp.
  - González, J. y Montelongo, I. (1999). Introducción al Derecho Ambiental Mexicano. UAM-Azcapotzalco. México. 600 pp.
  - Henry, J. G. y Heinke, G. W. (1999). Ingeniería Ambiental. Prentice Hall. 2ª edición. México.
  - INE (1996). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
  - INE (1997). Programa para la Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
  - INE/UNITAR (1997). Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes: Propuesta Ejecutiva Nacional. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 156 pp.
  - INE (1999a). Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes 1997-1998. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 172 pp.
  - INE (1999b). Instructivo de la Cédula de Operación Anual (COA) 1999-2000. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. <http://www.ine.gob.mx/dggia/retc/coa/formato.html>.
  - INE (2001a). Volumen de residuos peligrosos generados. Dirección de General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas. <http://www.ine.gob.mx/dgmrar/rip/volumen/volumen.html>
  - INE (2001b). Normas Oficiales Mexicanas en materia de contaminación del agua. <http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/agua/index.html>.
-

- INE (2001d). Normas Oficiales Mexicanas en materia de contaminación del aire. [http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/cont\\_at/industria/index.html](http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/cont_at/industria/index.html).
- INE (2001d). Normas Oficiales Mexicanas en materia de residuos peligrosos. [http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/res\\_pel/index.html](http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/res_pel/index.html).
- INE (2001e). Guías Industriales. Instituto Nacional de Ecología/Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. <http://www.ine.gob.mx/dggia/retc/coa/guias.html>.
- INEGI (1998). Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Joffre H., Lozada L., Ramírez I. (1999). Cédula de Operación Anual. Formato 1998. Tesis de Licenciatura. UPIBI, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Kroenke D. (1998). Database Processing Fundamentals, Design and Implementation. Prentice Hall. E.U.A. 6ª edición. 523 pp.
- Lucas H.C. (1992). The Analysis, Design, and Implementation of Information Systems. McGraw-Hill. 4ª Edición. E.U.A. 550 pp.
- PROFEPA/SEMARNAP (2000). Gestión Ambiental Hacia la Industria. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- Sánchez P. (1990). Sistemas Expertos: Una metodología de Programación. Coedición Macrobít. México. 535 pp.
- Sedesol (1993a). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-005-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos (Abrogada). Secretaría de Desarrollo Social. México.
- Sedesol (1993b). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-008-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la fabricación de asbestos de construcción (Abrogada). Secretaría de Desarrollo Social. México.
- Sedesol (1993c). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-010-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio. (Abrogada). Secretaría de Desarrollo Social. México.
- Sedesol (1993d). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-012-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria hulera (Abrogada). Secretaría de Desarrollo Social. México.

- 
- Sedesol (1993e). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-013-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria del hierro y del acero (Abrogada). Secretaria de Desarrollo Social. México.
  - Sedesol (1993f). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-015-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la celulosa y el papel (Abrogada). Secretaria de Desarrollo Social. México.
  - Sedesol (1993g). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-017-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de acabados metálicos (Abrogada). Secretaria de Desarrollo Social. México.
  - Sedesol (1993h). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-018-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones (Abrogada). Secretaria de Desarrollo Social. México.
  - Sedesol (1993i). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-030-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de jabones y detergentes (Abrogada). Secretaria de Desarrollo Social. México.
  - SIGEA (2000). Uso de Combustibles Alternos en la Industria Cementera Mexicana. Sistemas Integrales de Gestión Ambiental. México. En trámite de publicación.
  - USEPA (1995a) 310-R-95-011. Profile of the non-fuel, non-metal mining industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995b) 310-R-95-007. Profile of the fabricated metal products industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995c) 310-R-95-004. Profile of the inorganic chemical industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995d) 310-R-95-005. Profile of the iron and steel industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995e) 310-R-95-006. Profile of the lumber and wood products industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995f) 310-R-95-008. Profile of the metal mining industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
  - USEPA (1995g) 310-R-95-009. Profile of the motor vehicle assembly industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.

- USEPA (1995h) 310-R-95-010. Profile of the nonferrous metals industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1995i) 310-R-95-012. Profile of the organic chemicals industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1995j) 310-R-95-013. Profile of the petroleum refining industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1995k) 310-R-95-014. Profile of the printing industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1995l) 310-R-95-015. Profile of the pulp and paper industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1995m) 310-R-95-016. Profile of the rubber and plastics industry. Office of compliance sector notebook project, Environmental Protection Agency. E.U.A.
- USEPA (1998). Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42. Vol. 1. 5<sup>a</sup> Edición. Environmental Protection Agency/Clearinghouse for Inventories and Emission Factors (CHIEF). E.U.A. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>