



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA PARA LA
ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE
FUENTES DE ÁREA. REPINTADO
AUTOMOTRIZ**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

OMAR CARRILLO AYALA



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. RINA AGUIRRE SALDIVAR**

MÉXICO D.F.

2014

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo con todo mi afecto y amor a las personas que han luchado incansablemente para que yo pudiera terminar este largo camino de mi formación profesional, por siempre confiar en mí, por motivarme y nunca dejarme solo cuando los problemas parecían no terminar, a ustedes que siempre están presentes en mi corazón y en mi pensamiento.

Papá y mamá

Para la persona que prefirió sacrificar tiempo juntos para que yo pudiera cumplir con el mío, que a pesar de la distancia siempre me hizo sentir muy cerca de casa.

Mi hermana, Ivana

Para ti que con tu comprensión y amor me inspiraste para dar siempre lo mejor de mí, por nunca dejarme solo cuando más te necesité, gracias por estar siempre junto a mí.

Nataly

Para ustedes que son personas tan importantes en mi vida, por compartir tantos momentos de esfuerzo pero también de alegrías, porque siempre estuvieron listos para brindarme su ayuda, porque nunca podría terminar de enlistar a cada uno de ellos.

Mis Amigos

Para mí amada facultad y mi universidad que por muchos fue y seguirá siendo como mi segundo hogar, por darme siempre las herramientas necesarias para luchar en el día a día.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la realización de esta tesis.

De manera especial quiero dar las gracias a la Dra. Rina Aguirre que con sus consejos, comprensión, dedicación y rigurosidad supo guiar mis ideas para lograr este objetivo.

A cada uno de mis sinodales por su tiempo y sus acertadas observaciones que enriquecieron el contenido de la tesis.

A los integrantes de la Dirección General de Gestión de Calidad del Aire por su ayuda, la información y las herramientas necesarias para la culminación de este trabajo, mis más sinceros agradecimientos, Ing. Hugo, Ing. Roberto, Biol. Óscar y el Geog. Pedro.

Mil gracias a todos ustedes.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivo	4
1.3 Alcances y limitaciones	5
2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE	7
2.1 Principales contaminantes	7
2.1.1 Compuestos orgánicos volátiles	10
2.2 Fuentes de emisión	13
2.2.1 Fuentes de área	14
2.3 Métodos indirectos para la estimación de emisiones	15
2.3.1 Extrapolación	15
2.3.2 Balance de materiales	16
2.3.3 Modelos matemáticos	17
2.3.4 Cálculos de ingeniería	18
2.3.5 Factores de emisión	18
2.4 Inventarios de emisiones	20
2.4.1 Inventario nacional de emisiones (INEM)	21
2.4.2 Registros de emisiones y transferencias de Contaminantes (RETC)	22
3. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA	27
3.1 Descripción del proceso	28
3.2 Identificación de contaminantes	30
3.3 Selección del método de estimación	35
3.4 Estimación de emisiones y administración de datos	37
4. REPINTADO AUTOMOTRIZ	40
4.1 Descripción del proceso	41
4.2 Identificación de contaminantes	51
5. CASO PRÁCTICO	55
5.1 Descripción del repintado en México	55
5.2 Identificación de contaminantes	60
5.3 Estimación de emisiones	64
5.3.1 Estimación global de COV	65
5.3.2 Estimación de COV específicos	68
5.4 Administración de la información	70
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	

1 Emisión estatal de COV	83
1.1 Emisión de COV por talleres automotrices [Ton/año]	83
1.2 Emisión de COV por número de empleados[Ton/año]	84
1.3 Emisión de COV por accidentes terrestres [Ton año]	85
2 Emisión estatal específica de COV	86
2.1 Emisión de estireno	86
2.2 Emisión de etilbenceno	87
2.3 Emisión de tolueno	88
2.1 Emisión de xileno	89

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Crecimiento del mercado de repintado automotriz	3
2.1	Emisión de contaminantes en la ciudad de México (2010)	10
2.2	Clasificación de los compuestos orgánicos volátiles	11
2.3	Efectos agudos en la salud	12
2.4	Procesos de emisión de contaminantes de fuentes de área	15
2.5	Emisiones nacionales por tipo de fuente (2005)	22
3.1	Tabla resumen para la industria de pinturas y tintas	31
3.2	Resumen de contaminantes en la industria de pinturas y tintas	32
4.1	Composición del thinner	43
4.2	Composición de la masilla	44
4.3	Composición del rellenedor	45
4.4	Composición de catalizador para rellenedor	45
4.5	Composición de primario	46
4.6	Composición de thinner para primario	47
4.7	Composición del novoplaste	47
4.8	Composición del catalizador para pintura monocapa	49
4.9	Composición del reductor para pintura monocapa	49
4.10	Composición de la pintura para acabado bicapa	49
4.11	Composición del convertidor para pintura acabado bicapa	50
4.12	Composición del transparente	50
4.13	Composición del catalizador para transparente	50
4.14	Resumen de productos para repintado automotriz	51
4.15	Resumen de composición química de los productos	52
4.16	Contenido promedio de COV por tipo de producto para el Repintado	53
5.1	Accidentes terrestres anuales, México (2011)	56
5.2	Estados con mayor número de talleres, empleados y accidentes automotrices	57
5.3	Ventas nacionales de productos para repintado automotriz, México (2008)	58
5.4	Ventas nacionales de productos para repintado automotriz, México (2011)	58
5.5	Compuestos volátiles en los productos de repintado automotriz	61
5.6	Relación de entradas y salidas en el proceso	61
5.7	Resumen de contaminantes en el repintado automotriz	62
5.8	Criterios de selección de contaminantes	63
5.9	COV sujetos a estimación	64
5.10	Emisiones nacionales de COV por tipo de producto de repintado automotriz México (2011)	65
5.11	Ventas nacionales de productos [Ton/año] para repintado	69

automotriz (2011)	
5.12 Porcentaje de concentración por tipo de COV en el producto	69
5.13 Emisiones [Ton/año] por tipo de COV	73
5.14 Emisión de COV por fuentes de área [Ton/año] (2005)	74

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Emisión de GEI en México	8
2.2	Calidad del aire por ozono en la ciudad de México	12
2.3	Extrapolación	16
2.4	Balance de materiales	17
2.5	Modelos matemáticos	18
2.6	Factores de emisión basados en: a) procesos y b) censos	19
2.7	Estructura del RETC	25
3.1	Metodología para la estimación indirecta de emisiones	27
3.2	Diagrama de flujo para la descripción del proceso	29
3.3	Elaboración de pinturas (Ejemplo de diagrama de flujo de proceso)	30
3.4	Elaboración de pinturas (Ejemplo de diagrama de descripción de proceso)	31
3.5	Ejemplo de la etiqueta del sistema HMIS	33
3.6	Ejemplo de etiqueta sistema NFPA	33
3.7	Diagrama de flujo para la selección de contaminantes	34
3.8	Selección del método de estimación	36
3.9	Jerarquización de los métodos de estimación de emisiones	37
4.1	Diagrama de operación de los talleres automotrices	40
4.2	Nivel 3: Pintado daño leve	41
4.3	Nivel 4: Pintado daño medio	42
4.4	Nivel 5: Pintado daño fuerte	42
4.5	Proceso de enmasillado	44
4.6	Superficie con aplicación de rellenedor	45
4.7	Proceso de imprimación	46
4.8	Superficie con aplicación de primario	47
4.9	Proceso de aparejamiento	48
4.10	Proceso de pintado	48
5.1	Vehículos, excluyendo automóviles, involucrados en accidentes terrestres en México (2011)	56
5.2	Diagrama de flujo del proceso de repintado automotriz	59
5.3	Diagrama de emisiones del repintado automotriz	60
5.4	Distribución estatal de emisiones de COV (2013), a partir de la distribución de talleres registrados en la República	67
5.5	Distribución estatal de emisiones de COV (2011), a partir del número de empleados	67
5.6	Distribución estatal de emisiones de COV (2011), a partir del número de accidentes terrestres	68
5.7	Sección de información disponible	70
5.8	Sección estimación de COV globales a nivel estatal (talleres)	71
5.9	Distribución de emisiones por producto	72
5.10	Sección estimación de COV específicos a nivel estatal (xileno)	72

GLOSARIO

Contaminante	Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural;
COV	Sustancia que tiene un bajo punto de ebullición, una presión de vapor mínima de 0.13 [KPa] (a 25 [°C] y 101 [KPa]) y presenta en su molécula átomos de carbono e hidrógeno
Emisión	Liberación al ambiente de una sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o cualquier tipo de energía
Fuente emisora	Sitio o área de donde se emiten contaminantes a la atmósfera
Fuente de área	Resultan de una actividad en una determinada región, se forman por muchas pequeñas y dispersas fuentes puntuales
Fuente puntual	Sitio o área en el que se tiene un punto perfectamente definido de emisión de contaminantes

ACRÓNIMO

ANAFAPyT	Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas
CAS	Chemical Abstract Service
CCA	Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte
COA	Cédula de Operación Anual
COV	Compuesto Orgánico Volátil
EPA	Environmental Protection Agency
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HC	Hidrocarburos no quemados
HMIS	Hazardous Materials Identification System
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
NFPA	National Fire Protection Agency
MSDS	Material Safety Data Sheets
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SI	Sistema de Información
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
UNITAR	United Nations Institute for Training and Research

DEFINICIÓN DE VARIABLES

C	Estireno, etilbenceno, tolueno, xileno
C_i	Contenido de COV del producto i [Kg/L]
$C_{c,i}$	Contenido del COV _c en el producto i [%]
e	Número de entidad federativa $e=1,\dots,32$
E	Emisión de contaminante por unidad de tiempo
E_i	Emisión anual de COV para el tipo de producto i [Ton/año]
$E_{c,i}$	Emisión anual del COV _c para el tipo de producto i [Ton/año]
$EE_{e,i}$	Emisión de COV en el Estado e por uso del producto i [Ton/año]
EET_e	Emisión total de COV en el Estado e [Ton/año]
FD_e	Factor de distribución del Estado e
FE	Factor de emisión
m_i	Masa anual vendida del producto i [T/año]
NA	Nivel de actividad
P_A	Presión atmosférica
P_{Va}	Presión de vapor a la temperatura promedio de la superficie del líquido
ΔP_V	Variación de la presión de vapor
R	Eficiencia del equipo de control de emisiones (cuando existe)
T	Total de talleres, vehículos accidentados o empleados en México
T_e	Número de talleres, vehículos accidentados o empleados en el Estado e
T_{LA}	Temperatura promedio en la superficie del líquido
ΔT_V	Variación de temperatura de vapor
V_i	Ventas anuales para el tipo de producto i [m ³ /año]
V_V	Volumen de vapor en el tanque
W_V	Densidad de vapor del líquido

1 Introducción

El ser humano tiene un papel importante en la existencia de problemas ambientales; la industrialización ha afectado drásticamente al ambiente y en consecuencia los problemas ambientales impactan directamente la calidad de vida de las personas y de todos los seres que habitan el planeta. El desarrollo humano se ha basado en el consumo de recursos naturales dando como resultado el agotamiento de los mismos y el deterioro de la calidad ambiental. Los humanos son generadores y receptores al mismo tiempo.

Cada problema ambiental tiene características especiales: presenta un origen particular y tiene repercusiones que afectan en diferentes niveles al planeta y la población; es por ello que se debe analizar cómo ha sido el desarrollo histórico de cada problema y generar alternativas individuales de solución.

El calentamiento global y el debilitamiento de la capa de ozono son ejemplos de problemas ambientales que afectan al planeta, no exclusivamente a sus habitantes, provocando alteraciones como la extinción de especies, sequías, inundaciones y aumento de huracanes. Estos problemas van de la mano con el desarrollo industrial; sin embargo, no sólo las industrias son fuentes de contaminantes, en las actividades cotidianas (tanto en áreas rurales como urbanas) se emiten contaminantes al conducir un vehículo, quemar gas para la preparación de alimentos o realizar actividades agrícolas.

Es importante señalar que en los inicios del desarrollo industrial se dieron facilidades para que dicho sector creciera, esto sin considerar el impacto ambiental que las actividades tendrían; en un principio, se tenía la idea equivocada de que las afectaciones generadas únicamente serían en el área geográfica donde estuviera la industria por lo que no se debían establecer restricciones. Ante la expansión de las industrias y la alarmante aparición de nuevos contaminantes, se tomaron acciones de gestión ambiental; en el caso de México se crearon leyes y reglamentos para tener control sobre las actividades del sector. Estos instrumentos legales fueron cambiando hasta constituir lo que hoy en día es la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988).

Actualmente la apertura de mercados y la globalización tienen como punto en común la gestión ambiental, siendo un factor determinante en negociaciones internacionales. Ante las regulaciones comerciales que tienen que ser cumplidas, México ha firmado acuerdos internacionales con el fin de atender la problemática ambiental del país; la formulación de políticas y la implementación de programas que cumplen con el objetivo de la cuantificación de emisiones, son instrumentos para el desarrollo de la administración ambiental. La cuantificación de emisiones hace uso de sistemas de información, formatos estándar de reporte y métodos indirectos de estimación de emisiones.

La información que se incluye dentro de los inventarios de emisiones es de vital importancia para la generación de políticas en materia ambiental, y por ello deben coordinarse las actividades entre la industria, gobierno, instituciones académicas y el público en general para obtener los mejores datos posibles que alimenten estos inventarios.

1.1 Antecedentes

La emisión de contaminantes es un tema de interés mundial, que debe ser gestionado dentro de sistemas de administración ambiental y formar parte de políticas nacionales e internacionales para lograr su prevención y control.

Como parte de las iniciativas internacionales para la gestión de emisiones, se han desarrollado los Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), en los cuales se recopila detalladamente la información sobre los contaminantes considerados prioritarios. En estos registros, los contaminantes se clasifican no solo por su efecto sobre la salud y el ambiente sino por el tipo de fuente que los emite.

Los contaminantes atmosféricos pueden provenir de fuentes de distinta naturaleza, las cuales se clasifican en dos grandes grupos: puntuales y de área; para las primeras es posible realizar mediciones directas en el punto de emisión, en cambio, para las segundas (resultantes de la concentración de una actividad en una región delimitada) no es factible la medición directa y se recurre a la estimación indirecta. Como ejemplo de fuentes puntuales se tiene a las chimeneas industriales y para las de área se puede mencionar las actividades de la agricultura, los incendios forestales, así como establecimientos de microempresas (tal es el caso del repintado automotriz).

A pesar de que siempre es más recomendable realizar la medición directa de emisiones, existen ocasiones en las cuales se debe recurrir a la estimación indirecta considerando los recursos técnicos, económicos y de tiempo disponibles. La estimación indirecta de emisiones es una opción económica y ágil, siempre y cuando se disponga de la información requerida para realizarla.

El repintado automotriz es considerado una fuente de área, por el gran número de talleres que se encuentran diseminados en, prácticamente, cualquier zona de cualquier ciudad de nuestro país. Además, se considera una fuente de importancia en la gestión ambiental debido al uso de productos con alto contenido de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

La historia de esta actividad acompaña a la del automóvil; las primeras pinturas fueron elaboradas con resinas y aceites vegetales, las mismas que se utilizaban en los carruajes, cuya función era proteger la madera del vehículo pero, a partir de la primera guerra mundial y la producción en serie, la demanda del sector automotriz creció, haciendo necesario mejorar los procesos y dando lugar a las

pinturas nitrocelulósicas las cuales se aplicaban por medio de pistolas aerográficas y el uso de gran cantidad de solventes (elaborados a partir de COV).

A pesar de reducciones en el tiempo de producción, existían limitaciones en los colores empleados (únicamente se disponía de azul, negro, verde, marrón, beige y rojo); hasta 1928 se incorporó el primer pigmento blanco, el dióxido de titanio, el cual se convirtió en el color más popular para los coches deportivos. El éxito obtenido fue temporal ya que las pinturas nitrocelulósicas no son resistentes a la intemperie, su descomposición provocaba un tono opaco en la carrocería. La industria química dio solución a estos problemas con el desarrollo de las pinturas sintéticas (a base de resina alquídica), que daban un acabado lustroso y no necesitaban pulido.

Los avances tecnológicos y nuevos tipos de pintura siguieron apareciendo, llegando al uso de resinas acrílicas, pinturas metalizadas y la aparición de sistemas de pintado como el monocapa y el bicapa, obteniendo mejoras en calidad, versatilidad y tiempo. Sin embargo, problemas ambientales también aparecieron; las nuevas pinturas contenían cerca de 75% de solventes. En la actualidad, las empresas dedicadas a la producción de vehículos automotores, cuentan con instalaciones y equipo de seguridad como cámaras de secado, equipo de extracción de gases y equipo personal; pero no así la gran cantidad de talleres en los que se realizan trabajos de reparación y repintado, en los cuales los operarios rara vez cuentan con el equipo de protección (careta, guantes y lentes), además de no existir equipo de control de emisiones.

En México, la mayoría de este tipo de establecimientos cuenta con un número reducido de trabajadores y el proceso se realiza incluso en la calle, lo cual no ha impedido que su participación económica haya tenido un constante crecimiento en los últimos años (tabla 1.1). Este crecimiento, aunado con la dispersión de los talleres a lo largo y ancho de nuestro país y la cantidad de contaminantes emitidos representaron un importante caso de estudio para la realización de una metodología para la estimaciones de emisiones de COV a partir de fuentes de área.

Tabla 1.1 Crecimiento del mercado de Repintado Automotriz

Año	Volumen de ventas (miles de litros de productos de repintado)	Valor económico (millones de pesos)
2008	30,348	1,413
2009	31,859	1,550
2010	32,815	1,678
2011	33,355	1,827

Fuente: ANAFAPyT (2011)

El estudio de los compuestos orgánicos volátiles es importante no sólo debido a sus numerosos y variados usos (destacando como disolventes y solventes); sino que, por la parte ambiental, sobresalen por ser precursores del ozono que se forma por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Debido a la relación existente

entre los COV y la formación de ozono, en las zonas urbanas del país la presencia de COV es uno de los principales problemas de contaminación del aire. La emisión total de COV en el 2010 entre el Distrito Federal y el Estado de México fue de 591,399 [Ton] (42 y 58 % correspondientemente); al considerar la dirección de los vientos en la Ciudad de México se ve favorecida la formación de ozono en delegaciones al sur de la entidad (GDF, 2010).

Durante ese mismo año, entre abril y junio, hubo 58 días con calidad del aire mala y 6 con clasificación muy mala, debido a que la concentración de ozono superó las normas; esto, como consecuencia de la emisión de COV y la presencia de otros precursores.

Los COV se emiten a temperatura ambiente hacia la atmósfera por medio de la volatilización, lo que los hace fácilmente inhalables y causantes de efectos crónicos en la salud, como ejemplo se tiene el cáncer y afectaciones en la reproducción; los operarios de los talleres automotrices diariamente están expuestos a diferentes tipos de COV, sin embargo en este trabajo solo se hizo hincapié en algunos de ellos (como el xileno, tolueno y estireno) por estar sujetos a reporte en el RETC y porque se encuentran en la mayoría de los productos de repintado automotriz que fueron analizados.

Los puntos aquí señalados muestran la importancia de contar con herramientas que permitan estimar las emisiones de actividades consideradas como fuentes de área.

1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo fue establecer una metodología para la estimación de emisiones contaminantes de fuentes de área. Y aplicar dicha metodología al proceso de repintado automotriz en México.

Para poder cumplir con el objetivo planteado fue necesario realizar las actividades que se enlistan a continuación:

- Estudiar las tendencias ambientales en materia de administración ambiental, desarrollo e implementación de registros de emisiones como instrumentos de gestión ambiental
- Investigar sobre los principales contaminantes del aire y clasificación de fuentes emisoras
- Analizar los métodos para la estimación indirecta de emisiones, aplicables a las fuentes de área
- Revisar los instrumentos de gestión ambiental que se emplean en México: inventarios y registros de emisiones
- Elaborar una metodología para el cálculo de las emisiones provenientes de fuentes de área

- Describir el proceso de repintado automotriz. Visitar instalaciones y entrevistar a operarios de talleres
- Aplicar la metodología propuesta al repintado automotriz, calculando las emisiones generales de COV y por tipo de COV, a nivel nacional y estatal, tomando como base el año 2011
- Finalmente, analizar los resultados obtenidos para las emisiones de COV del repintado automotriz en México y establecer su importancia a nivel ambiental.

La descripción de estas actividades se agrupa en los cuatro siguientes capítulos, posteriores a este capítulo introductorio y en un último capítulo de conclusiones y recomendaciones.

1.3 Alcances y limitaciones

Así como antes se mencionaron las actividades realizadas para cumplir con el objetivo planteado, es importante mencionar que dichas actividades se enmarcaron dentro de los siguientes alcances y limitaciones:

- El trabajo presentado analiza el desarrollo, estructura y situación de registros de emisiones y transferencia de contaminantes, tomando como casos particulares solo el RETC mexicano y el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM). El primero por formar parte de los acuerdos internacionales de nuestro país y el segundo por ser el de uso cotidiano dentro de la SEMARNAT
- La metodología propuesta se diseñó para ser aplicada para la estimación de emisiones de cualquier fuente de área, utilizando métodos indirectos de estimación
- Se seleccionó el caso de repintado automotriz y la emisión de COV como caso de estudio por la importancia que esta actividad tiene en todo el país y porque actualmente sus emisiones han sido estimadas de forma general, sin llegar a hacer una especiación de los COV emitidos
- Los resultados del caso de estudio, emisiones de COV del repintado automotriz en México, serán entregados a la SEMARNAT para su análisis y actualización del INEM 2011
- En el capítulo de resultados de este trabajo no se incluyeron todas las especies de COV que pueden ser estimadas sino solo aquellas que se encuentran sujetas a reporte dentro del RETC mexicano; o que el autor consideró importantes de acuerdo con la información sobre riesgos a la salud incluida en hojas de seguridad

- Para el caso de estudio, emisiones de COV, el cálculo de emisiones se realizó a partir del balance de materiales, tomando en cuenta la confiabilidad del método de estimación y la información disponible.

Antes de describir el proceso de repintado automotriz, en el siguiente capítulo se introducen los conceptos básicos sobre la contaminación del aire y sobre los inventarios de emisiones. Para posteriormente, estar en posibilidad de justificar la importancia de dicha actividad empresarial, a nivel nacional por su participación contaminante, como a nivel local por afectar la salud de sus trabajadores y de población vecinal.

2 Contaminación del aire

Uno de los temas de mayor importancia en la actualidad es la contaminación del aire, definida como la adición a la atmósfera de sustancias que tienen un efecto perjudicial en los seres vivos o el planeta (Ross, 1974). Los cambios demográficos, el consumo de recursos naturales, en un grado mayor a la capacidad de respuesta de la propia naturaleza y la industrialización, son los factores causantes de este grave problema.

Los avances tecnológicos de la revolución industrial, iniciada a finales del siglo XVIII, incrementaron de manera drástica la presencia de contaminantes en el aire. La sustitución del trabajo manual por máquinas que utilizan vapor trajo consigo, además de elevados niveles de producción, el incremento del uso de combustibles fósiles; desde ese entonces, los problemas por contaminación ambiental han sido un punto en común en las ciudades industrializadas.

Entre los episodios más graves, en cuanto a contaminación del aire, se tiene como ejemplo la niebla londinense de 1952, en donde el aumento de partículas suspendidas y dióxido de azufre provocó la muerte de 4,000 personas en el transcurso de cinco días (SEMARNAT, 2007a). Otro de los episodios más impactantes fue el deterioro de los bosques europeos a causa de la lluvia ácida durante los años cincuenta y sesenta; la mala calidad del aire en Tokio, Sao Paulo y la ciudad de México son otros ejemplos.

Para entender mejor la contaminación del aire es necesario que se describan cuáles son los principales contaminantes y cuáles son las fuentes que los originan.

2.1 Principales contaminantes

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar por: su origen, área de afectación o composición química.

Por su origen. Pueden ser de dos tipos: primarios o secundarios; los primarios son generados en la fuente emisora, mientras que los secundarios se producen en el aire a partir de los primarios (SEMARNAT, 2013a).

Por su área de afectación. Los contaminantes pueden tener diferente área de afectación y de acuerdo a esto se clasifican en globales, regionales y locales (SEMARNAT, 2008):

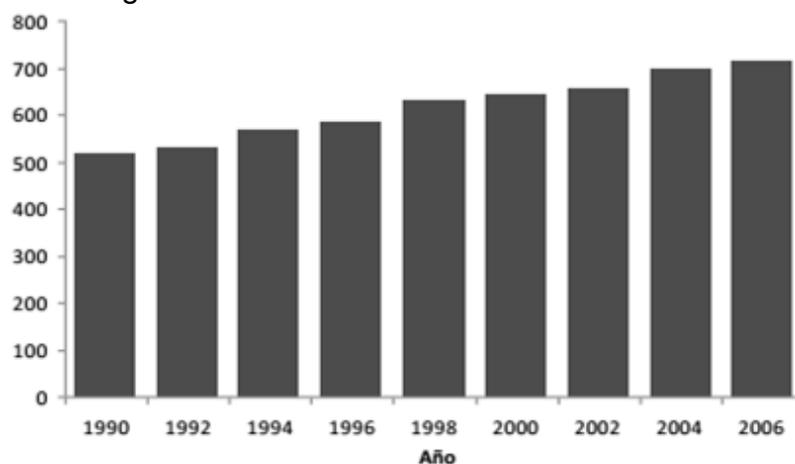
- *Globales:* Tienen repercusiones en el planeta (globo terráqueo). Existen dos grandes daños que ha sufrido la Tierra relacionados con contaminantes atmosféricos: *la destrucción de la capa de ozono* (SEMARNAT, 2007b) y *el calentamiento global*. El primero relacionado con el uso indiscriminado de compuestos fluorocarbonados (CFC) y el segundo con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Para entender el *calentamiento global* es necesario describir el *efecto invernadero* y el *cambio climático*; términos relacionados entre sí pero no sinónimos. El efecto invernadero es el fenómeno natural responsable de mantener la actual temperatura media de la Tierra, aproximadamente 15 [°C] (SEMARNAT, 2007b), por la cual puede existir vida tal y como la conocemos hoy en día.

Los gases existentes en la atmósfera conocidos como GEI, tales como: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, permiten pasar la radiación solar (radiación de onda corta) hacia la Tierra, pero absorben la radiación infrarroja reflejada creando el efecto invernadero.

Debido al aumento de la concentración de los GEI, se presenta el *calentamiento global*, definido como el aumento de la temperatura media del planeta; lo cual, a su vez, provoca el *cambio climático*¹ como una respuesta natural. Entre los efectos mas importantes del calentamiento se encuentran: el incremento de huracanes, el deshielo de los casquetes polares y el aumento del nivel del mar, que durante el siglo XX se elevó a una velocidad media de 1 a 2 [mm/año] (SEMARNAT, 2007b). En la figura siguiente (2.1) se muestra el aumento de la emisiones de GEI en nuestro país, expresadas como CO_{2,eq} (INE, 2006).

Figura 2.1 Emisión de GEI en México



Fuente: PECC (2014)

- *Regionales*: Son contaminantes que tienen afectaciones en áreas relativamente lejanas de la fuente emisora. Como ejemplo se tiene a la lluvia ácida, la cual se produce *viento abajo* de áreas industriales donde se emite dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que se combinan con la humedad del aire para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄) y nítrico (HNO₃), respectivamente (SEMARNAT, 2007a). La lluvia ácida provoca la degradación

¹ Todo cambio del clima local a través del tiempo (Kiely, 1999).

del suelo, la acidificación de ríos, lagos y lagunas, así como el deterioro de monumentos y edificios (Henry y Heinke, 1999).

- *Locales:* Los efectos locales se relacionan con la salud de los seres vivos y se tiene como ejemplo: irritación en los ojos, enfermedades respiratorias, asma, bronquitis, daño pulmonar, reducción del transporte de oxígeno en la sangre y cáncer. La mayoría de los contaminantes más estudiados corresponden a esta categoría: CO, SO₂, NO_x, O₃, COV y partículas.

Por su composición química: Los contaminantes del aire se pueden clasificar por grupos, a partir de sus elementos característicos o bien por su estado de agregación:

Óxidos de carbono: Son dos, uno global y otro local:

- Bióxido de carbono (CO₂). Es un GEI cuya principal fuente es la quema completa de combustibles fósiles.
- Monóxido de carbono (CO): Es un gas producto de la combustión incompleta; su inhalación produce la formación de carboxihemoglobina (reducción de oxígeno en la sangre), que puede llegar a producir la muerte.

Compuestos que contienen azufre: Se tiene como principal contaminante al dióxido de azufre (SO₂) el cual es generado por la quema combustibles que contienen azufre; tiene efectos locales, como irritación del sistema respiratorio, y regionales, como la formación de lluvia ácida.

Compuestos que contienen nitrógeno: Los más importantes son los óxidos de nitrógeno [NO_x] y entre ellos destacan los siguientes:

- Óxido nitroso (N₂O): GEI que tiene como mayor fuente de emisión la actividad biológica en el suelo; su concentración ha aumentado por el uso de fertilizantes químicos con alto contenido de nitrógeno.
- Bióxido y monóxido de nitrógeno (NO₂ y NO): Son de carácter irritante y corrosivo, además de ser precursores en la formación de ozono y lluvia ácida. Se producen durante la combustión a elevadas temperaturas y la quema de combustibles nitrogenados.

Ozono: Es un contaminante secundario, fuertemente oxidante. Es el principal componente del *SMOG*² fotoquímico y se forma de reacciones en que intervienen los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia de luz solar. Reduce la función pulmonar y se le asocia con problemas como tos, irritación, estornudos y congestión pulmonar.

Partículas suspendidas: Son partículas sólidas o líquidas (aerosoles) de diversa composición y tamaño. Su emisión se debe principalmente a procesos de combustión incompleta y la erosión. Tienen efectos muy variados como ataques al

² Del inglés: smoke “humo” y fog “niebla”

sistema respiratorio y daños al tejido pulmonar, además de reducir la visibilidad. Se subclasifican normalmente en:

- PST, partículas suspendidas totales: Hace referencia a todo material con un diámetro equivalente menor a 50 μm suspendido en el aire.
- PM10, partículas menores a 10 μm .
- PM2.5, partículas menores a 2.5 μm o fracción fina, que pueden ocasionar daños a nivel pulmonar.

Hidrocarburos no quemados (HC) y Compuestos orgánicos volátiles (COV): Son compuestos formados por carbono e hidrógeno, cuyo origen puede ser la combustión incompleta (HC) o la evaporación de compuestos orgánicos (COV). Químicamente pueden tener la misma composición y su efecto sobre la salud o el ambiente varía considerablemente dependiendo de esta. Algunos son cancerígenos, como el benceno, mientras que otros se caracterizan por su alta reactividad fotoquímica.

Considerando que el objetivo de este trabajo es la estimación de los vapores contaminantes que se emiten en el proceso de repintado (COV) se dedica el siguiente apartado para presentar sus principales características, usos y efectos; sin embargo, debemos recordar que la literatura pocas veces hace diferencia entre HC y COV.

Para concluir este resumen sobre los principales contaminantes atmosféricos se presenta la cantidad de cada uno de ellos generada en la Ciudad de México en el año 2010 (tabla 2.1). En esta tabla, como se ha explicado, HC incluye a los hidrocarburos no quemados emitidos de procesos de combustión y a los compuestos orgánicos evaporados.

Tabla 2.1 Emisión de contaminantes en la ciudad de México (2010)

Contaminante	Cantidad emitida [Ton/año]
SO₂	6,704
CO	1,568,000
CO₂	43,769,048
NO_x	188,087
HC	946,733
PM10	24,296
PM2.5	5,499

Fuente: GDF (2010)

2.1.1 Compuestos orgánicos volátiles

Se define a un compuesto orgánico volátil, COV, como una sustancia que tiene un bajo punto de ebullición, una presión de vapor mínima de 0.13 [KPa] (a 25 [°C] y 101 [KPa]) y presenta en su molécula átomos de carbono e hidrógeno (Jiménez, 2006). Con base en esta definición se puede realizar la siguiente clasificación (tabla 2.2):

Tabla 2.2 Clasificación de los compuestos orgánicos volátiles

Descripción	Temperatura de ebullición [°C]	Ejemplos
Muy volátiles	<100	Propano y butano
Volátiles	100<325	Acetona y tolueno
Semi volátiles	380-400	Clordano y DDT ¹

¹ Dicloro difenil tricloroetano
Fuente: EPA (2013b)

Su presencia en la atmósfera está estrechamente relacionada con el desarrollo de la industria petrolera desde mediados del siglo XIX.

Otra manera de clasificarlos es con base en su estructura química (Sánchez et al, 2004):

- Alcanos: Poseen enlaces sencillos
- Alquenos: Con doble enlace
- Alquinos: Tienen triple enlace
- Aromáticos: Con un anillo bencénico
- Halogenados: por tener en su estructura un elemento del grupo de los halógenos.

La importancia que tiene el estudio de estos contaminantes radica en su abundante uso y al mismo tiempo los problemas ambientales que ocasionan. Entre sus principales usos destacan los siguientes (BVSDE, 1997):

- Desengrasado y limpieza de superficies metálicas
- Limpieza en seco en tintorerías
- Formulación de plaguicidas
- Síntesis química, como intermediarios para la obtención de plásticos, pinturas, colorantes, tintas, lacas, barnices, resinas y hules
- Conservantes de madera
- Uso como solventes.

El uso continuo de estos compuestos genera una gran variedad de problemas ambientales y efectos en la salud (Sánchez et al, 2004), pudiendo citar:

- Efectos tóxicos y cancerígenos en la salud humana: Existen COV que tienen un efecto directo en la salud del ser humano, entre los más destacados se encuentra el benceno por su efecto cancerígeno (produce leucemia). En la tabla 2.3 se presentan los efectos agudos en la salud de personas expuestas y ejemplos de los COV causantes:

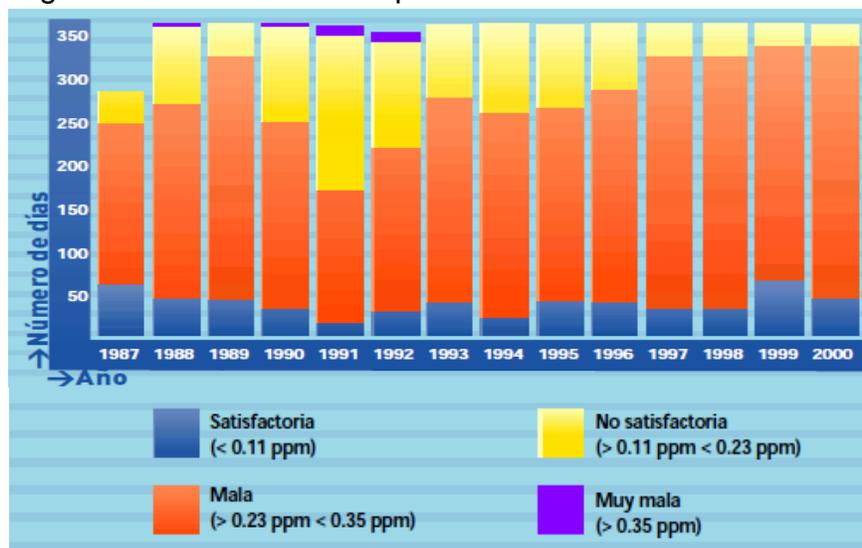
Tabla 2.3 Efectos agudos en la salud

Efecto	Puede ser causado por
Irritación en: <ul style="list-style-type: none"> • Nariz y garganta • Ojos 	Tolueno y acetona Ácido acético
Contacto en la piel: <ul style="list-style-type: none"> • Dermatitis • Quemaduras químicas 	Metanol y xileno Ácido acético
Sobre el sistema digestivo: <ul style="list-style-type: none"> • Náusea, vómito • Diarrea • Hepatitis 	Acetonitrilo 2-Nitropropano Cloruro de metileno
Sobre el sistema nervioso <ul style="list-style-type: none"> • Dolor de cabeza y mareos 	Disulfuro de carbono

Fuente: BVSDE (1997)

- Formación de ozono: Los COV intervienen en el proceso de formación de ozono, el cual no únicamente daña la salud humana sino que afecta muchos materiales (causa oxidación). La formación de ozono en la ciudad de México es uno de los principales problemas ambientales (ver figura 2.2)

Figura 2.2 Calidad del aire por ozono en la ciudad de México



Fuente: Sánchez et al (2004)

- Acumulación y persistencia en el ambiente. Los compuestos orgánicos volátiles superan los procesos de oxidación y se vuelven persistentes. La acumulación de COV en la atmósfera está relacionada principalmente con emisiones de vehículos y actividades industriales.

2.2 Fuentes de emisión

La emisión³ al aire de contaminantes no exclusivamente tiene su origen en la industria o el transporte, existen también procesos naturales que emiten contaminantes, tal es el caso de erupciones volcánicas y los pantanos. Ante este hecho, resulta importante establecer la naturaleza de la fuente emisora para realizar un análisis adecuado. Las fuentes emisoras⁴ pueden clasificarse por: su tipo y por su dimensión espacial.

Por su tipo pueden ser naturales (fenómenos que se producen en la superficie o en el interior de la Tierra) o antropogénicas (actividades de los seres humanos). En el año de 1999 las emisiones por fuentes naturales fueron mayores que las descargadas por las fuentes antropogénicas, teniendo un 58% las naturales y un 42% las segundas (SEMARNAT, 2007a).

Con base en su dimensión espacial las fuentes se subclasifican en puntuales y de área. Las primeras son aquellas en las que se tiene un punto perfectamente definido de emisión de contaminantes (SEMARNAT, 2013a), mientras que las fuentes de área están formadas por muchas, pequeñas y dispersas fuentes puntuales.

En el caso de México, tal como se indica en el artículo 111 Bis de la Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente, se definen como fuentes puntuales de jurisdicción federal once sectores industriales que deben reportar anualmente las emisiones de contaminantes por medio de la Cédula de Operación Anual (COA); estas son:

- Industria química
- Industria del petróleo y petroquímica
- Pinturas y tintas
- Automotriz
- Celulosa y papel
- Metalúrgica
- Vidrio
- Generación de energía eléctrica
- Asbesto
- Cementera y calera
- Tratamiento de residuos peligrosos

Debido a la importancia que tiene para esta tesis la estimación de las emisiones de las fuentes de área, a continuación se describen con mayor detalle sus características.

³ Liberación al ambiente de una sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o cualquier tipo de energía (LGEEPA, 1988).

⁴ Sitio o área de donde se emiten contaminantes a la atmósfera (SEMARNAT, 2013a).

2.2.1 Fuentes de área

Las fuentes de área son aquellas que resultan de la acumulación de una actividad en una determinada región (INEM, 2005). Algunas de estas fuentes son las actividades agrícolas, incendios forestales, centrales camioneras y repintado de carrocerías. Sin embargo, debido a que este tipo de fuentes son muy numerosas, es conveniente agruparlas en categorías que integran procesos o emisiones similares (INEM, 2005):

- Combustión en fuentes estacionarias: Abarca la utilización de combustibles derivados del petróleo y biomasa en pequeños establecimientos comerciales e institucionales, hoteles, restaurantes, escuelas y tortillerías, así como uso doméstico.
- Fuentes móviles que no circulan por carretera: Incluye: locomotoras, embarcaciones marítimas comerciales, aeronaves, equipo recreativo, de construcción industrial, jardinería, explotación forestal y servicio de aeropuertos.
- Uso de solventes: Agrupa las fuentes que utilizan solventes en sus procesos, tal es el caso del recubrimiento de superficies en la industria, repintado automotriz, señalización vial, limpieza de superficies en la industria, lavado en seco, artes gráficas, asfaltado, uso comercial y doméstico de solventes.
- Almacenamiento y transporte de productos del petróleo: Incluye fuentes de emisiones evaporativas y las subcategorías de distribución de gasolina, carga de combustible en aeronaves y distribución de gas licuado de petróleo (gas LP).
- Fuentes industriales y comerciales: Dentro de esta categoría se encuentran las panaderías, ladrilleras, actividades de construcción y asados al carbón.
- Fuentes agrícolas: Conforman la categoría la aplicación de plaguicidas, corrales de engorda de ganado, quemas agrícolas, aplicación de fertilizantes, manejo de desechos animales y labranza agrícola.
- Fuentes de manejo de residuos: Quema a cielo abierto de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales.
- Fuentes de áreas misceláneas: Incendios forestales y en construcciones, emisiones domésticas de amoníaco, polvo de caminos pavimentados y sin pavimentar.
- Fuentes móviles: Son aquellas que circulan por carretera como automóviles, camiones y motocicletas.

En la tabla 2.4 se muestran los procesos de emisión para algunas de las categorías ya explicadas.

Tabla 2.4 Procesos de emisión de contaminantes de fuentes de áreas

Categoría de fuente	Combustión	Evaporación	Perturbación mecánica	Proceso biológico
Combustión en fuentes estacionarias	X			
Fuentes móviles que no circulan por carretera	X	X		
Uso de solventes		X		
Almacenamiento y transporte de productos del petróleo		X		
Fuentes industriales y comerciales	X		X	X
Fuentes agrícolas	X	X	X	X
Fuentes de manejo de residuos	X	X		
Fuentes de área misceláneas	X		X	X

Fuente (SEMARNAT, 2012)

Al encontrarse dispersas y tener emisiones individuales no significativas, no es factible, técnica ni económicamente, la medición directa en las fuentes de área, por eso se debe recurrir a métodos indirectos para estimar los contaminantes emitidos. En el siguiente apartado se realiza una descripción de algunos de éstos métodos indirectos.

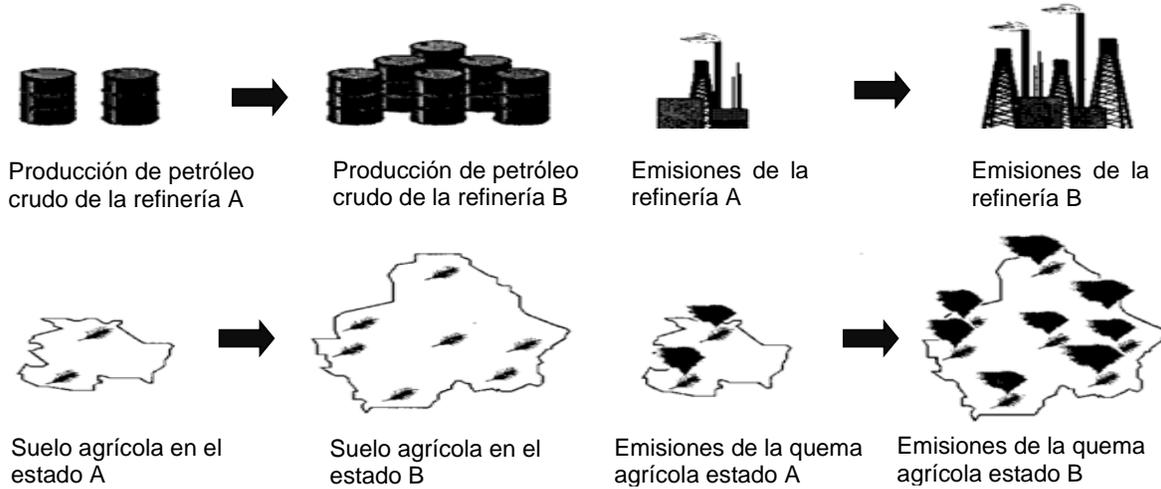
2.3 Métodos indirectos para la estimación de emisiones

Los métodos indirectos involucran el uso de una gran cantidad de información, la cual debe cumplir con las siguientes características: exactitud, relevancia y oportunidad. Los métodos indirectos son: extrapolación, balance de materiales, modelos matemáticos, cálculos de ingeniería y uso de factores de emisión.

2.3.1 Extrapolación

Este método consiste en usar los datos disponibles de emisiones, flujos o concentraciones para una población, industria o tipo de fuente, y extrapolarlos para estimar la emisión futura de esa fuente bajo condiciones distintas de operación u otras fuentes similares (figura 2.3).

Figura 2.3 Extrapolación



Fuente (SEMARNAT, 2012)

Es muy importante señalar que la extrapolación se recomienda realizar siempre y cuando los datos a utilizar cuenten con las siguientes características:

- Forman parte de muestras representativas de la fuente o población analizada.
- Se tiene un procedimiento validado y estandarizado para captura, almacenamiento y procesamiento de información.
- Las fuentes, industrias o actividades para las cuales son extrapolados los datos forman parte de una misma población o de poblaciones comparables.

2.3.2 Balance de materiales

Al utilizar el método de balance de materiales se realiza un análisis de las cantidades de entrada y salida de un proceso completo o por etapas; resulta ser útil para hacer estimaciones de emisiones y para desarrollar factores de emisión al evaluar las condiciones de un proceso o actividad.

Resulta ser el método más preciso de todos, particularmente cuando se realiza el análisis por un periodo largo de tiempo, en un ciclo completo y cuando se tienen pocas pérdidas de material a un medio diferente para el cual se realizan los cálculos. Dentro de este método son considerados los flujos y transformaciones de una sustancia en un proceso global o parcial, tomando como base el principio de conservación de la materia (figura 2.4).

Figura 2.4 Balance de materiales



Para poder llevar al cabo un balance es indispensable contar con información relacionada con flujos de entrada y salida de materiales, composición química de productos y un conocimiento detallado del proceso. Si no se tiene toda la información y se realiza alguna suposición, se genera una incertidumbre en los cálculos que debe ser cuantificada.

En el caso de repintado automotriz, para obtener las emisiones de COV, se usa el balance de materiales haciendo la suposición de que el solvente que entra a un proceso se evapora en su totalidad; es decir, las emisiones son proporcionales a la cantidad de solvente aplicado.

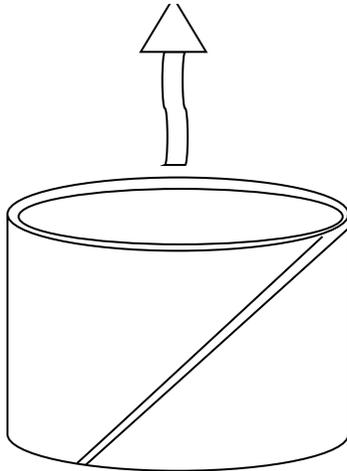
2.3.3 Modelos matemáticos

Existen procesos en los cuales las emisiones se encuentran relacionadas no únicamente con una variable del proceso (figura 2.5), por lo cual el cálculo de emisiones se hace más complicado; un modelo matemático es una ecuación que sistematiza las relaciones existentes entre todas las variables involucradas en un proceso. Por lo regular, estos modelos se presentan en un lenguaje de programación para facilitar la realización de las operaciones matemáticas y llegar al resultado por medio de múltiples iteraciones.

Son usados para estimar emisiones de fuentes contaminantes a partir de simular el comportamiento de los procesos que generan emisiones. Se apoyan en factores de emisión, ecuaciones de diseño, información estadística y principios fisicoquímicos.

Figura 2.5 Modelos matemáticos

Pérdidas por volatilización en un tanque de almacenamiento de sustancias orgánicas



Fuente: SEMARNAT (2012)

COV emitidos por la expansión y contracción del vapor debido a los cambios en la temperatura y la presión

$$Emisiones = (V_V, W_V, \Delta P_V, P_{Va}, P_A, \Delta T_V, T_{LA})$$

donde:

V_V = Volumen de vapor en el tanque

W_V = Densidad de vapor del líquido

ΔP_V = Variación de la presión de vapor

P_{Va} = Presión de vapor a la temperatura promedio de la superficie del líquido

P_A = Presión atmosférica

ΔT_V = Variación de temperatura de vapor

T_{LA} = Temperatura promedio en la superficie del líquido

2.3.4 Cálculos de ingeniería

Existen tres formas básicas de cálculos de ingeniería (UNITAR, 1998); la primera es el uso de correlaciones publicadas para emisiones al aire por evaporación relacionadas con tanques, estanques y en procesos de tratamiento de aguas residuales. La segunda se realiza al consultar las especificaciones de equipos, tales como la tasa de eliminación y eficiencia. Este tipo de cálculo se usa en fuentes puntuales que tienen equipo de control de emisiones.

El tercer caso es cuando se utiliza la composición química de los contaminantes generados en una fuente para inferir las reacciones que los originaron y las cantidades en que serán emitidos.

Uno de los requisitos que tiene este método de estimación es que se necesita de un especialista (ingeniero químico), para realizarla.

2.3.5 Factores de emisión

Un factor de emisión (FE) es la relación entre la cantidad de contaminante emitido y una unidad de actividad del proceso. Se expresa como peso o volumen del contaminante dividido por alguna unidad de actividad (peso de producto, peso de materia prima, volumen de producto, distancia recorrida, número de empleados, duración de la actividad, etc.); por ejemplo, kilogramos de CO_2 por Mg de carbón quemado (EPA, 2013a).

La importancia de su uso es su simplicidad, ya que consiste en aplicar la siguiente fórmula general:

$$E = NA * FE * \left(\frac{1-r}{100}\right)$$

donde:

E: Emisión de contaminante por unidad de tiempo

NA: Nivel de actividad

FE: Factor de emisión

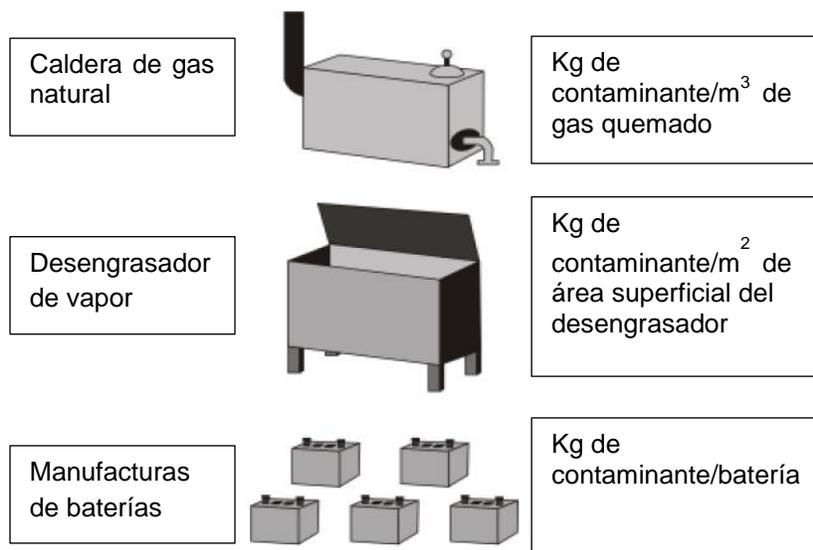
r: Eficiencia del equipo de control de emisiones (cuando existe).

Considerando que los factores de emisión corresponden a promedios dentro de diferentes rangos, las emisiones estimadas mediante este método tendrán una desviación con relación a la emisión real de la fuente analizada.

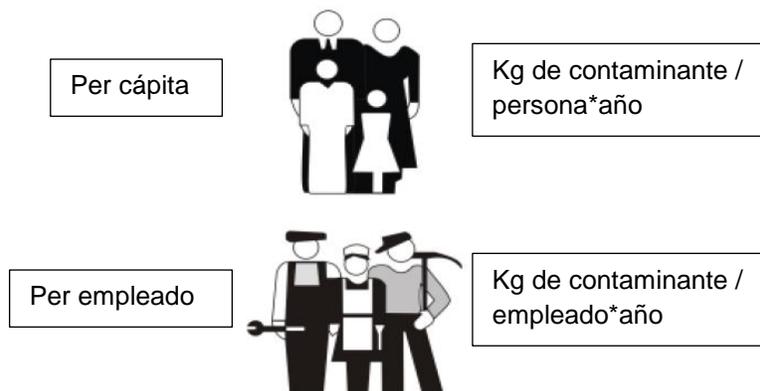
La clasificación de los factores de emisión se realiza en dos categorías, de acuerdo con la unidad de actividad considerada, los basados en procesos y los basados en censos. Los del primer caso son utilizados principalmente para la estimación de emisiones de fuentes puntuales, mientras que los segundos se ocupan principalmente en la estimación de fuentes de área. En la figura 2.6 se muestra el ejemplo de esta clasificación.

Figura 2.6 Factores de emisión basados en:
a) procesos y b) censos

a)



b)



Fuente: SEMARNAT (2012)

Factores de emisión basados en procesos: Se incorporan los estudios realizados en diversos países para determinar tasas promedio de diferentes procesos que son fuentes de emisiones. Con el fin de evitar el muestreo de todas las fuentes, se ocupan los resultados de muestreos a fuentes representativas para desarrollar factores de emisión, esto representa un ahorro económico.

Factores de emisión basados en censos socioeconómicos o de población: Se desarrollan principalmente para fuentes de área, en las cuales es posible asociar la emisión de contaminantes con datos generales de la actividad, como el número de empleados, clientes o consumidores. Es muy importante señalar que estos factores de emisión son más exactos cuando son aplicados a una región grande y periodos largos de tiempo (años). En esta clasificación se encuentran dos tipos de factores: per cápita, relacionado con la cantidad de contaminante emitido por persona (cliente, consumidor, habitante de la zona) y per empleado (personal directamente relacionado con el proceso productivo).

El uso de factores de emisión es de vital importancia en la elaboración de inventarios de emisiones, ya que representan la mejor alternativa para la estimación de emisiones cuando no se posee mucha información, no se cuenta con personal experto en los procesos que se analizan, no existe tiempo o recursos económicos suficientes para realizar mediciones in situ o balances de materia.

A continuación se presenta brevemente el inventario nacional de emisiones y el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, dentro de los cuales serán incertadas la emisiones de COV que se estimaron en este trabajo.

2.4 Inventarios de emisiones

Como herramientas para la gestión de calidad del aire y la toma de decisiones se cuenta con Inventarios de Emisiones, a partir de los cuales se deben determinar

las políticas de prevención y control de emisiones. En México existen dos inventarios de emisiones atmosféricas:

- El Inventario Nacional de Emisiones (INEM)
- El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

2.4.1 Inventario nacional de emisiones (INEM)

El programa del Inventario nacional de emisiones de México se inició en 1995, tomando como prioridad el formular una metodología para mejorar la capacidad de desarrollo de inventarios en México, atender los requerimientos de información del público en general y responder a compromisos internacionales derivados del tratado de libre comercio de América del Norte. Actualmente se tienen dos publicaciones: el INEM 1999 y el INEM 2005.

Para la elaboración del Inventario es necesario contar con la participación del gobierno federal y los gobiernos locales, para aumentar la eficiencia en la recopilación y control de calidad de la información. Los objetivos del INEM son (INEM, 2005):

- Generar información fundamental para la gestión de la calidad del aire a nivel nacional, estatal y municipal.
- Contribuir al desarrollo de las capacidades federales y estatales para elaborar, mantener y actualizar inventarios de emisiones.
- Desarrollar herramientas y métodos, en constante revisión y estandarizados, para facilitar la actualización del INEM.
- Proveer información que sirva para contar con inventarios de las emisiones atmosféricas en Norte América.
- Hacer una representación geográfica de las emisiones contaminantes.
- Mejorar las estimaciones para las subcategorías que lo requieren.

Dentro de los alcances que tiene el INEM se tiene la cobertura geográfica y resolución espacial, por lo cual se realiza la estimación de emisiones de cada una de las entidades federativas hasta nivel municipal, ya que las emisiones varían significativamente entre sí, esto se debe a que el desarrollo, extensión territorial y población son diferentes en cada municipio.

Dentro del INEM se consideran las emisiones de siete contaminantes primarios: PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , CO , NO_x , COV y NH_3 ; provenientes de fuentes fijas, de área, fuentes móviles y fuentes naturales (INEM, 2005). En la tabla 2.5 se presentan las emisiones registradas por el inventario en el año 2005.

Tabla 2.5 Emisiones nacionales por tipo de fuente (2005)

Fuente	Emisión [Mg/año]						
	NO _x	SO ₂	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃
Área	338,805	248,323	1,827,680	2,508,365	524,271	361,586	932,488
Móviles	1,848,487	28,456	3,062,142	38,419,087	16,201	11,824	21,191
Naturales	1,752,916		14,009,228				
Totales	4,537,337	3,101,652	19,172,883	41,974,989	811,239	594,180	997,308

* Las celdas en blanco representan valores no reportados

Fuente: SEMARNAT (2013b)

Los datos anteriores señalan que las fuentes de área representan un papel importante en las emisiones nacionales de contaminantes; son las principales emisoras de PM10 y PM2.5 con el 60% del total emitido y casi el 95% del amoniaco.

Cada tipo de fuente considerada en el inventario cuenta con una metodología para la estimación de sus emisiones, en el caso de las fuentes fijas se utiliza la información existente en la COA⁵ y para los otros tipos de fuentes se recurre a métodos de estimación indirecta tales como los descritos en el presente trabajo.

Con el fin de que la información generada sea de alta calidad y confiable, se realizan actividades de documentación, aseguramiento y control de calidad para cada tipo de fuente. La evaluación se realiza en función del método de estimación y la información primaria empleados.

2.4.2 Registros de emisiones y transferencia de contaminantes (RETC)

El RETC (PRTR⁶ mexicano) es un inventario, de acceso público, de las emisiones y transferencia de contaminantes. Es una base de datos que recopila y estandariza la información acerca de sustancias contaminantes emitidas al aire, suelo y agua.

El origen del RETC tiene lugar en la Conferencia de Río y la Agenda XXI de la ONU, en donde los registros de emisiones surgen como una iniciativa ambiental para la documentación detallada de los principales contaminantes y satisfacer el derecho a la información (*right to know*) de la población. Los países participantes en la conferencia acordaron que estos registros deberían ser implantados antes del año 2000; actualmente, son varios los países que ya cuentan con un PRTR e intentan motivar a los emisores para reducir la contaminación ambiental.

Para que un PRTR sea un verdadero instrumento para ayudar al cuidado del ambiente y promueva el desarrollo sustentable, debe cumplir con los siguientes principios generales de elaboración:

⁵ Cédula de Operación Anual (INEM, 2005)

⁶ Pollutant Release and Transfer Register

- La información centralizada deberá servir para la evaluación, identificación y reducción de riesgos ambientales producto de emisiones y/o transferencia de contaminantes.
- Deberá servir para la prevención de contaminantes, con la ayuda de tecnologías limpias, combustibles limpios, energías alternativas, etc.
- Deben participar los diferentes sectores sociales, públicos y privados, con el fin de tener objetividad en el proceso.
- Es indispensable que se integre un número apropiado de contaminantes; aquellos que representan un mayor riesgo para la salud de las personas y el ambiente.
- No únicamente se deben integrar fuentes puntuales en la recolección de datos, es necesario que se incluyan otros tipos de fuentes como las de área.
- Debe incluirse la información de contaminantes del aire, agua y suelo.
- El acceso a la información debe ser público y estar disponible en un periodo de tiempo razonable.
- La información obtenida debe ser representada geográficamente.
- La información generada debe contribuir a la cooperación internacional.

Dentro del marco internacional se tiene como ejemplos de PRTR exitosos al Toxic Release Inventory (TRI) de Estados Unidos y el National Pollutant Release Inventory (NPRI) de Canadá. Estos dos registros, junto con el RETC mexicano han sido integrados, por la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA)⁷, dentro del Inventario de Emisiones de Contaminantes de América del Norte (NAPRI).

El TRI es elaborado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) desde 1987. Inicialmente, sólo recopilaba información de los contaminantes al aire, agua y suelo, monitoreados por la industria; actualmente la industria presenta sus datos en un formato único vía electrónica y reporta información sobre los contaminantes incluidos en una lista oficial.

La primera lista de contaminantes incluía solo 309 productos químicos peligrosos utilizados en la industria manufacturera (subdivididos en 20 categorías); esta lista cambia conforme es analizada por la EPA evaluando las sustancias con base en sus efectos agudos sobre la salud humana y el ambiente, para el año 2005 se debían reportar 581 contaminantes.

Entre las nuevas secciones que se han incluido al TRI se encuentran las fuentes de área que incluye información de categorías como fertilizantes, plaguicidas y COV. El TRI ha llegado a disminuir las emisiones de contaminantes debido a que, a partir de él, se establecen criterios de regulación ambiental; sus datos se consultan constantemente y son difundidos en medios de comunicación como el periódico e internet.

⁷ La CCA fue creada en el contexto del tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN).

Por su parte, el NPRI se encuentra funcionando desde 1993 y tiene como principales usuarios al gobierno, universidades, industrias y organismos no gubernamentales. Se encuentra bajo la administración del ministerio federal de medio ambiente en términos de la Ley Canadiense de Protección Ambiental (CEPA). Esta ley cubre un gran número de asuntos de interés federal dando prioridad al desarrollo sustentable a través de la prevención de la contaminación, la reducción de emisiones y en algunos casos la eliminación de sustancias tóxicas.

Las modificaciones a la lista de contaminantes del NPRI son publicadas anualmente en la Gaceta de Canadá (GC), además de los criterios que determinan el requisito del reporte. Cada año la lista ha ido creciendo, en 1993 se presentó información de 178 contaminantes, para el año 2003 creció a 211.

Finalmente, el RETC surge como iniciativa de UNITAR⁸ para la elaboración de registros de emisiones en países en vías de desarrollo, con lo cual se disminuiría el vacío sobre información ambiental mundial (UNITAR, 1997). Además, México firmó acuerdos internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas en 1992, en los que se comprometía al desarrollo de inventarios de emisiones.

Para la publicación de la Propuesta Ejecutiva Nacional del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, se realizó un proyecto piloto para el estado de Querétaro, con la participación de organizaciones como la ONU y la CCA. La propuesta ejecutiva proporcionó los requerimientos técnicos y administrativos para el correcto funcionamiento del RETC. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la encargada de garantizar la calidad de la información y el acceso ciudadano a este registro de emisiones.

Los principales objetivos establecidos para el RETC son:

- Compilar la información de emisiones contaminantes que tienen un efecto perjudicial en la salud de las personas y/o el ambiente.
- Proporcionar información oportuna sobre emisiones y transferencias de contaminantes.
- Generar un elemento de administración ambiental en la prevención y control de contaminantes.
- Generar información que sirva a México para cumplir con sus compromisos internacionales.

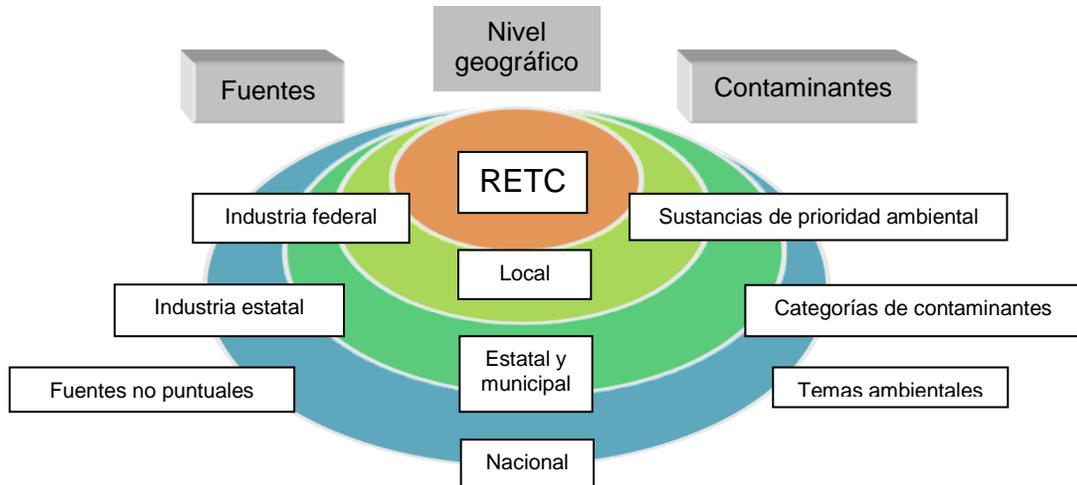
La cédula de operación anual (COA) es el formato por el cual las industrias de jurisdicción federal reportan anualmente sus emisiones y transferencias de contaminantes al RETC. Durante los primeros años, el reporte era de carácter voluntario, lo cual cambió en el año 2004 haciéndolo obligatorio.

La estructura del RETC (figura 2.7) incluye la recopilación de información de diferentes fuentes, además de la proporcionada directamente por la COA. El RETC integra fuentes fijas, de área, puntuales y móviles. La estimación de las

⁸ United Nations Institute for Training and Research

emisiones que no se reportan de manera directa al RETC se desarrolla por grupos especializados de investigación.

Figura 2.7 Estructura del RETC



Las fuentes consideradas en el RETC, como se muestra en la figura, son de diferente naturaleza y se agrupan en tres categorías, la primera corresponde a las industrias de jurisdicción federal, las cuales ya han sido mencionadas. En el caso de la industria estatal, los gobiernos locales son los encargados de recolectar la información de sus emisiones; fuentes no puntuales son aquellas consideradas como de área en este trabajo. El nivel geográfico de localización de la información deberá ser puntal, estatal y nacional.

Los contaminantes incluyen sustancias de prioridad ambiental, las cuales se resumen en la lista de sustancias RETC (NOM-165, SEMARNAT), ocho categorías de contaminantes: Compuestos Orgánicos Persistentes (COP), Gases de Efecto Invernadero (GEI), hidrocarburos aromáticos y alifáticos, metales, organohalogenados, plaguicidas, Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono y otros; en el caso de los temas ambientales se incluye la gestión de calidad del aire en cuencas urbanas atmosféricas, cambio climático, protección de la capa de ozono, administración de la calidad del agua en cuencas hidráulicas, manejo de residuos peligrosos y reducción de sustancias tóxicas.

Al inicio de su operación el RETC consideraba una lista de 178 contaminantes y actualmente están sujetas a reporte 104 sustancias.

Como se ha podido observar, son muchos los conceptos y factores que están involucrados con la contaminación del aire; se han estudiado los principales contaminantes y fuentes emisoras y han sido descritos instrumentos para la gestión de la calidad del aire como el INEM y el RETC.

Resulta importante remarcar que el uso de métodos indirectos para el cálculo de emisiones es una alternativa de solución al problema de estimación en fuentes donde no se puede realizar medición directa, además de proporcionar ahorros económicos y de tiempo.

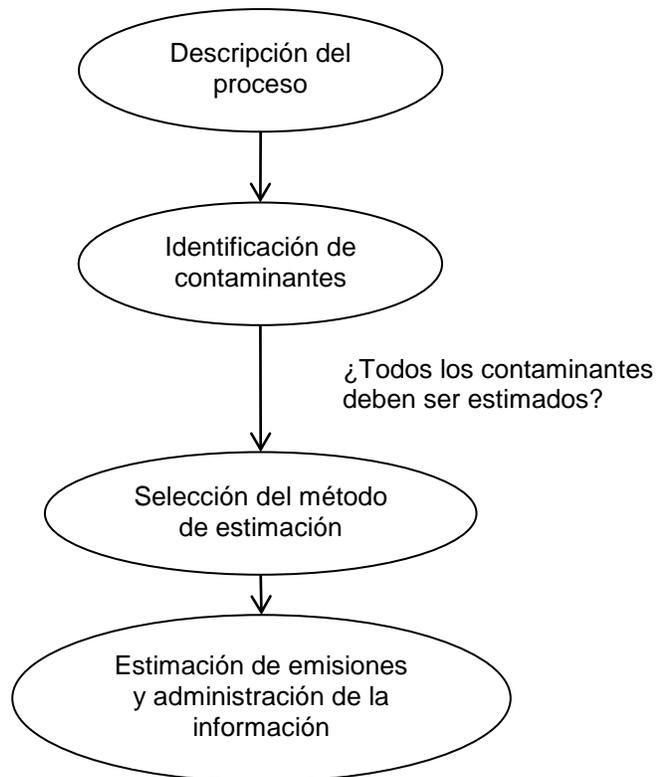
A partir de los elementos presentados en este capítulo, se establecerá en el siguiente una metodología para la estimación de las emisiones de fuentes de área y la inclusión de dicha información dentro de los inventarios de emisiones.

3 Metodología para la estimación de emisiones de fuentes de área

Como mencionó en el capítulo anterior, resulta difícil medir directamente las emisiones de las fuentes de área, ya sea por razones técnicas o económicas, por lo cual se recurre a los métodos indirectos de estimación. Sin embargo, antes de realizar cualquier cálculo, se debe hacer un análisis detallado del proceso para determinar cuáles son los recursos necesarios y disponibles para la estimación indirecta.

La metodología que se propone para estimar las emisiones contaminantes de fuentes de área se puede resumir en los siguientes pasos (ver figura 3.1):

Figura 3.1 Metodología para la estimación indirecta de emisiones



En cada uno de estos pasos se debe reunir la información que respalde y permita el cálculo de las emisiones contaminantes; a continuación se presenta, brevemente, el contenido de cada uno:

1. Realizar una descripción detallada y sistemática del proceso; con la finalidad de delimitarlo y establecer los recursos necesarios para la estimación de contaminantes. Para esto se debe:
 - a. determinar cuáles son las entradas y salidas del proceso. Las primeras se relacionan con los elementos necesarios para que se realice el proceso, mientras que las salidas se definen como productos, subproductos, emisiones y transferencias al agua, suelo y aire.

- b. establecer las relaciones (reacciones químicas) existentes entre los elementos de entrada y salida
2. Identificar los contaminantes presentes. Esto incluye:
 - a. identificar las etapas del proceso en las que se tiene emisión de contaminantes.
 - b. identificar el estado de agregación en que se emiten (gas, líquido o sólido) y hacia qué medio (aire, agua, suelo).
3. Determinar el método de estimación que deberá emplearse, de acuerdo con la información disponible.
4. Realizar la estimación de las emisiones y administrar la información obtenida.

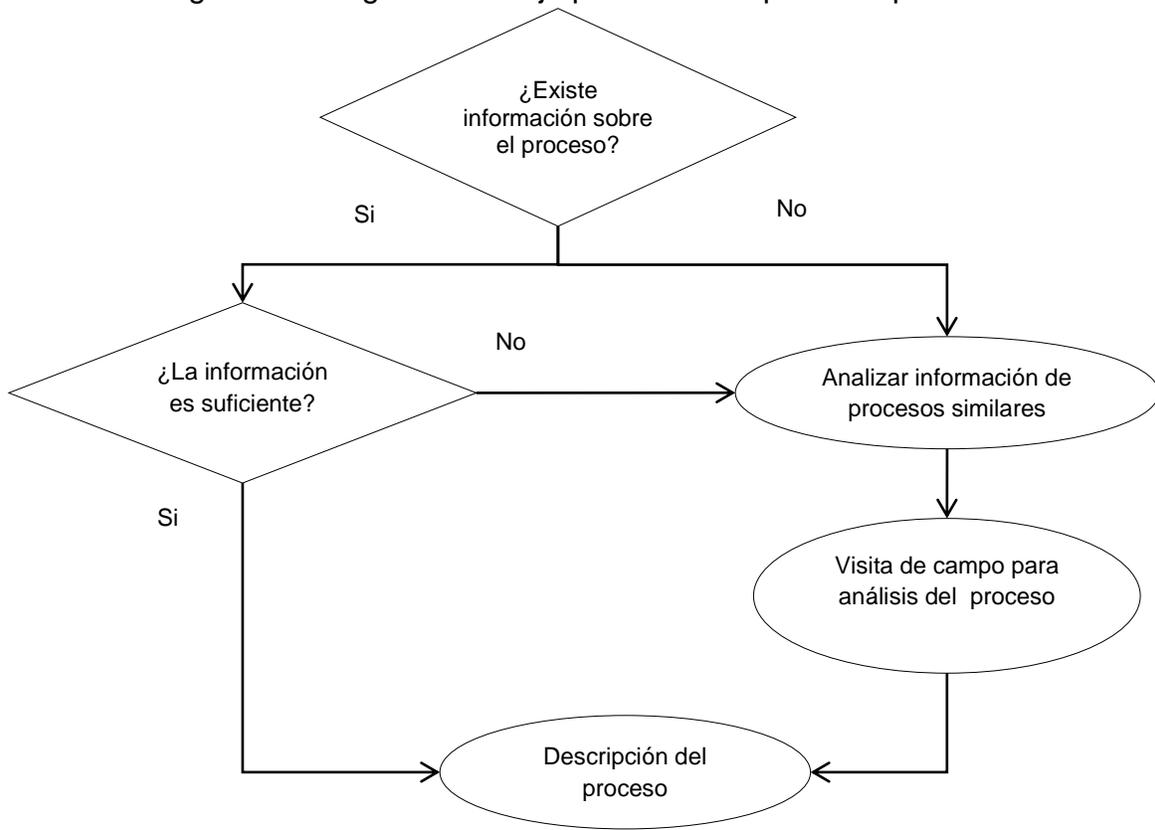
Para describir a detalle cada uno de estos pasos se incluyen los siguientes cuatro apartados.

3.1 Descripción del proceso

Esta descripción debe incluir todas las etapas, operaciones y elementos involucrados, ya que es la base para el planteamiento de los recursos necesarios para la estimación indirecta. Factores como la experiencia, disponibilidad de información y el nivel de detalle de la descripción, facilitarán la selección y aplicación de los métodos indirectos de estimación.

Existen fuentes de área para las cuales se han hecho cálculos de emisiones, tal es el caso de las presentadas en el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM, 2005), pero cuando la información no esté disponible o sea insuficiente para el entendimiento del proceso, se recomienda realizar visitas a la fuente (o a fuentes similares) y consultar a expertos. En la figura 3.2 se presenta el diagrama de flujo con los pasos para la descripción del proceso.

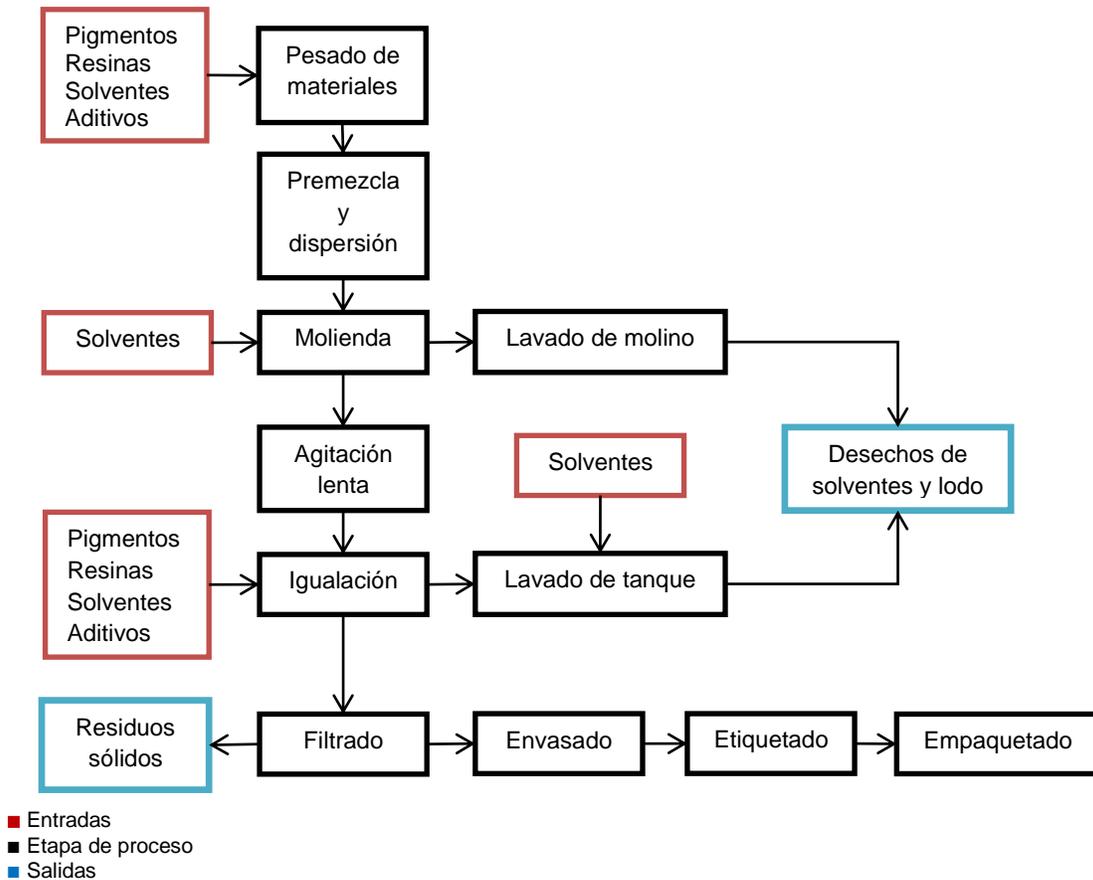
Figura 3.2 Diagrama de flujo para la descripción de proceso



Al seguir los pasos anteriores se podrán tener los conocimientos para describir el proceso en un nivel que facilite el análisis de los puntos de emisión y al mismo tiempo la identificación de contaminantes. Sin embargo, se debe ser consciente de que la fuente puede estar en constante cambio con la incorporación de nuevas tecnologías.

La descripción debe ser sistemática, estableciendo claramente la secuencia dentro del proceso, es decir, por etapas, incluyendo todos los elementos involucrados (ver figura 3.3). Los elementos a considerar son de diversa naturaleza, pueden ser flujos de masa, energías, actividades, productos finales, emisiones e inclusive maquinaria. La elaboración de diagramas de proceso ayudará a la identificación y también a resumir la información obtenida.

Figura 3.3 Elaboración de pinturas (Ejemplo de diagrama de flujo de proceso)



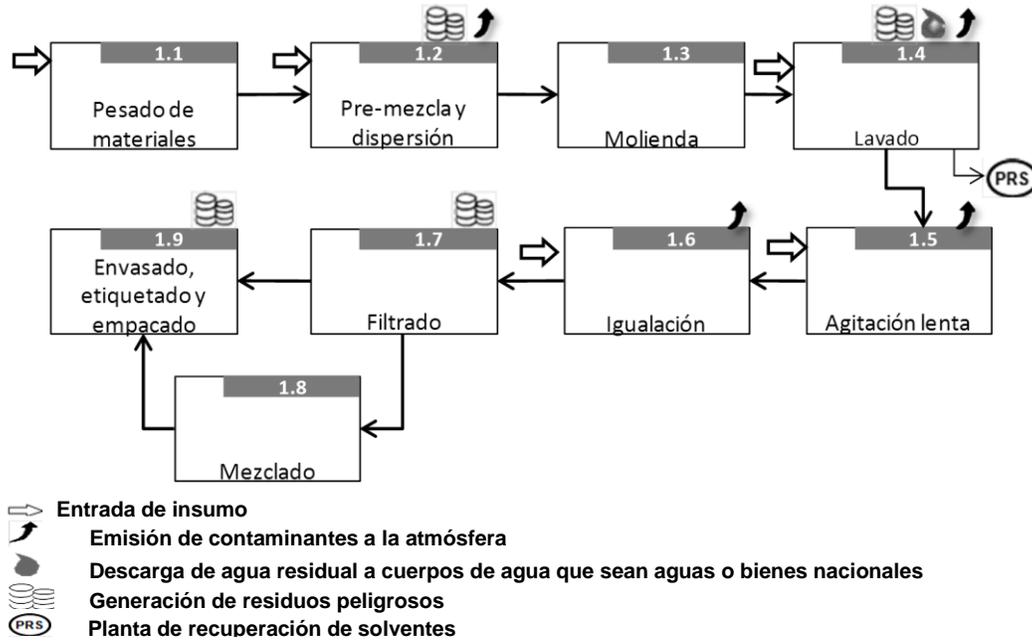
Fuente: Adaptación libre de SEMARNAT (2010)

Como se puede observar en el diagrama, su elaboración parte de la identificación de entradas, etapas de proceso y salidas; en este primer gráfico, no es necesario que se señalen las etapas de emisión de contaminantes, dado que su objetivo es mostrar de manera sistemática y general el desarrollo del proceso; al tener la información centralizada se facilitan los pasos siguientes.

3.2 Identificación de contaminantes

En este paso se deben identificar todos aquellos contaminantes emitidos por el proceso. Se recomienda emplear los diagramas de flujo para ubicar los puntos de emisión y sus características (ver figura 3.4). Las etapas deberán contar con un número de identificación para su análisis.

Figura 3.4 Elaboración de pinturas (Ejemplo de diagrama de descripción de proceso)



Fuente: SEMARNAT (2010)

Como se puede observar, en el diagrama anterior han sido identificadas las etapas de emisión; sin embargo, es necesario señalar los contaminantes emitidos en cada una de ellas. Para ello, se propone utilizar dos tablas resumen, la primera para centralizar la información del diagrama anterior (ver tabla 3.1) y la segunda para identificar los contaminantes emitidos en cada etapa (ver tabla 3.2).

Tabla 3.1 Tabla resumen para la industria de pinturas y tintas

Número de diagrama	Entradas			Salidas			
	Entrada de insumo	Consumo de combustible	Uso de agua	Emisión al aire	Emisión al agua	Residuos peligrosos	Residuos sólidos
1.1	X						
1.2	X			X		X	
1.3							
1.4	X			X	X	X	
1.5	X			X			
1.6	X			X			
1.7						X	
1.8							

Fuente: Adaptación libre de SEMARNAT (2010)

Tabla 3.2 Resumen de contaminantes en la industria de pinturas y tintas

Etapa del proceso		Salidas		
		Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos
1.2	Premezcla y dispersión	Partículas de pigmentos, cargas y secantes ¹ , preservadores ² ; vapores de solventes ³ , dibutilftalato y monómeros de vehículos ⁴		Empaques de materias primas
1.4	Lavado		Residuos de pinturas y solvente sucios	
1.5	Agitación lenta			
1.6	Igualación			
1.7	Filtrado			Residuos de pintura y filtros usados
1.9	Envasado			Restos de etiquetas, envases y embalaje

1. Pigmentos, cargas y secantes de pinturas: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Pb, Se, Ti, V, Zn, Zc.

2. Preservadores: acetato fenilmercurio, oleato fenilmercurio, álcalis de mercurio, tributiltina y metilendianilina.

3. Solventes: percloroetileno, triclorobenceno, cloruro de metileno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno; no halogenados como el xileno, tolueno, metil etil cetona, metanol, acetato de etilo, 2-etoxietanol, acetato de etilglicol, acetato de butilo, piridina, butanol, aguarrás varsol, aguarrás trementina, ciclohexanona, dietil cetona, solventes con base en fenoles, cetonas o bencenos.

4. Vehículos: fenol, cianuros, tolueno diisocianato, estireno, butirato de vinilo, amidas, aminos..

Fuente: Adaptación libre de SEMARNAT (2010)

La relevancia que tiene el uso de este tipo de diagramas y tablas, radica en la centralización y sistematización de la información. Sin embargo, ante las complicaciones (económicas, técnicas o administrativas) para estimar la emisión de todos los contaminantes, en ocasiones es necesario discriminar y seleccionar solo algunos de ellos. Entonces, la segunda parte de este apartado incluye la selección de los contaminantes que serán estimados, para esto deben establecerse criterios de selección tales como: inclusión en registros oficiales de emisiones (como el INEM y el RETC), convenios internacionales, normas y necesidades específicas del inventario (o estudio) que se realiza.

Al establecer los criterios de selección es conveniente consultar la hoja de seguridad de una sustancia o producto (MSDS⁹), la cual proporciona datos sobre sus usos, daños en la salud y propiedades físicas y químicas. Dentro de estas hojas se incluyen frecuentemente los datos de algún sistema de identificación de riesgos que pueden ser utilizados como criterios de selección. Los sistemas de identificación de riesgo más comunes son:

- a) Sistema HMIS¹⁰: Fue desarrollado por el National Paint & Coatings Association para dar a conocer los riesgos de sustancias peligrosas a la salud laboral, por medio de etiquetas en envases, cajas, latas, frascos, cilindros y depósitos. La información que presenta la etiqueta se basa en colores y números: salud (azul), inflamabilidad (rojo), riesgo físico (naranja) y equipo

⁹ del inglés: Material Safety Data Sheets

¹⁰ del inglés: Hazardous Materials Identification System

de protección obligatorio. Un ejemplo de esta etiqueta se muestra en la figura 3.5.

Figura 3.5 Ejemplo de la etiqueta del sistema HMIS

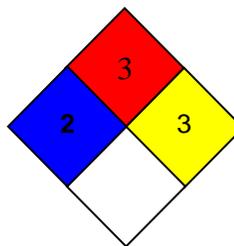


Fuente: SURATEP (2008)

En el renglón correspondiente a salud se tiene dos diferentes recuadros, el primero representa al órgano o sistema que la sustancia afecta, mientras que el segundo se utiliza para indicar el nivel de riesgo; cuando una sustancia presenta efectos crónicos al número se le agrega un asterisco.

- b) Norma NFPA¹¹ 704: Esta identificación propone las mismas categorías de riesgos que el sistema anterior, aunque difiere en el uso de colores (ver figura 3.6): salud (azul), flamabilidad (rojo), reactividad (amarillo) y para indicaciones especiales como corrosividad o radioactividad (blanco). Esta norma fue creada para bomberos y brigadas de respuesta a emergencias (SURATEP, 2000).

Figura 3.6 Ejemplo de etiqueta sistema NFPA



Además, en las hojas de seguridad también es posible encontrar otros datos sobre la sustancia que pueden ser utilizados como criterios ambientales para la selección de contaminantes, algunos de ellos se enlistan a continuación (SEMARNAT, 1997):

¹¹ del inglés: National Fire Protection Association

1 Persistencia ambiental: Parámetro utilizado para relacionar la tendencia de un contaminante a permanecer en el ambiente al no degradarse química o biológicamente. Un contaminante se considera persistente cuando su vida media en el agua es mayor a dos meses, en el suelo superior a seis meses y en el aire mayor a dos días (Barra, 2007).

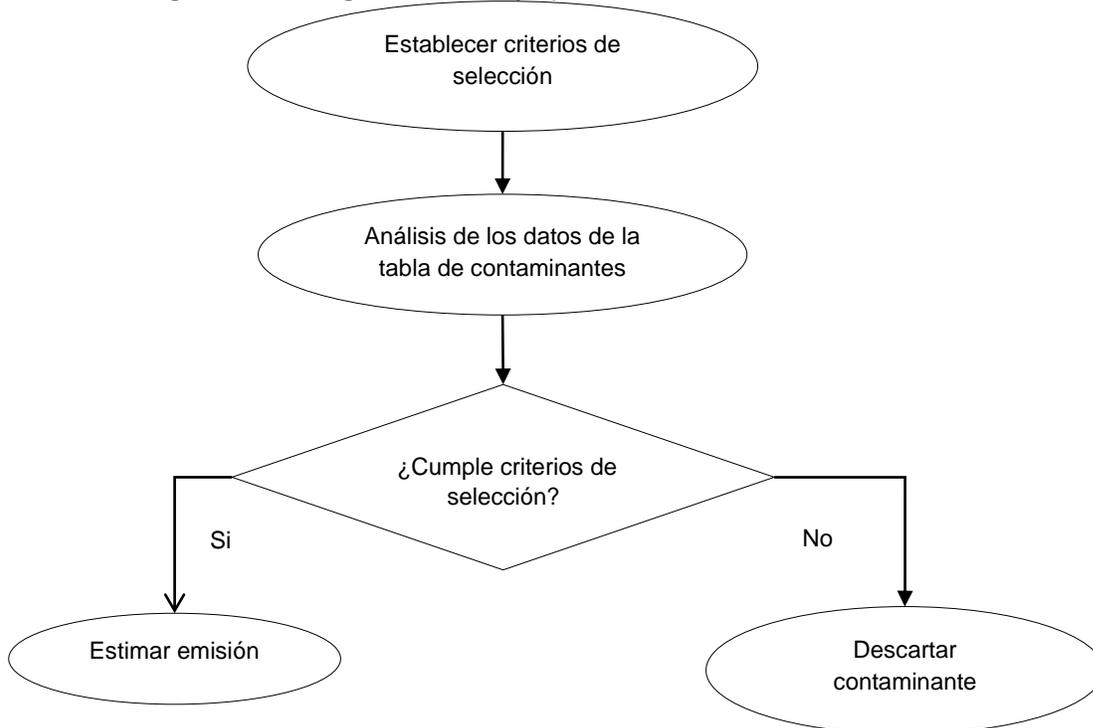
2 Bioacumulación: Es la tendencia de determinados contaminantes a acumularse en los tejidos de los seres vivos, llegando a alcanzar concentraciones tóxicas.

3 Toxicidad: Incluye efectos letales y crónicos de los contaminantes para la salud:

- 3.1 *Letalidad:* Término relacionado con la capacidad de un contaminante de provocar la muerte
- 3.2 *Teratogenocidad:* Abarca efectos reproductivos (desarrollo y supervivencia del ser vivo) por exposición al contaminante
- 3.3 *Carcinogenicidad:* Capacidad de una sustancia para provocar cáncer
- 3.4 *Mutagenicidad:* Se define como la capacidad que tiene una sustancia para provocar un cambio permanente y heredable.

Una vez establecidos los criterios de selección, se procede a elaborar una tabla que muestre para cada contaminante los datos asociados a cada criterio. Los pasos para la identificación de contaminantes se muestran en el diagrama de flujo siguiente (figura 3.7).

Figura 3.7 Diagrama de flujo para la selección de contaminantes

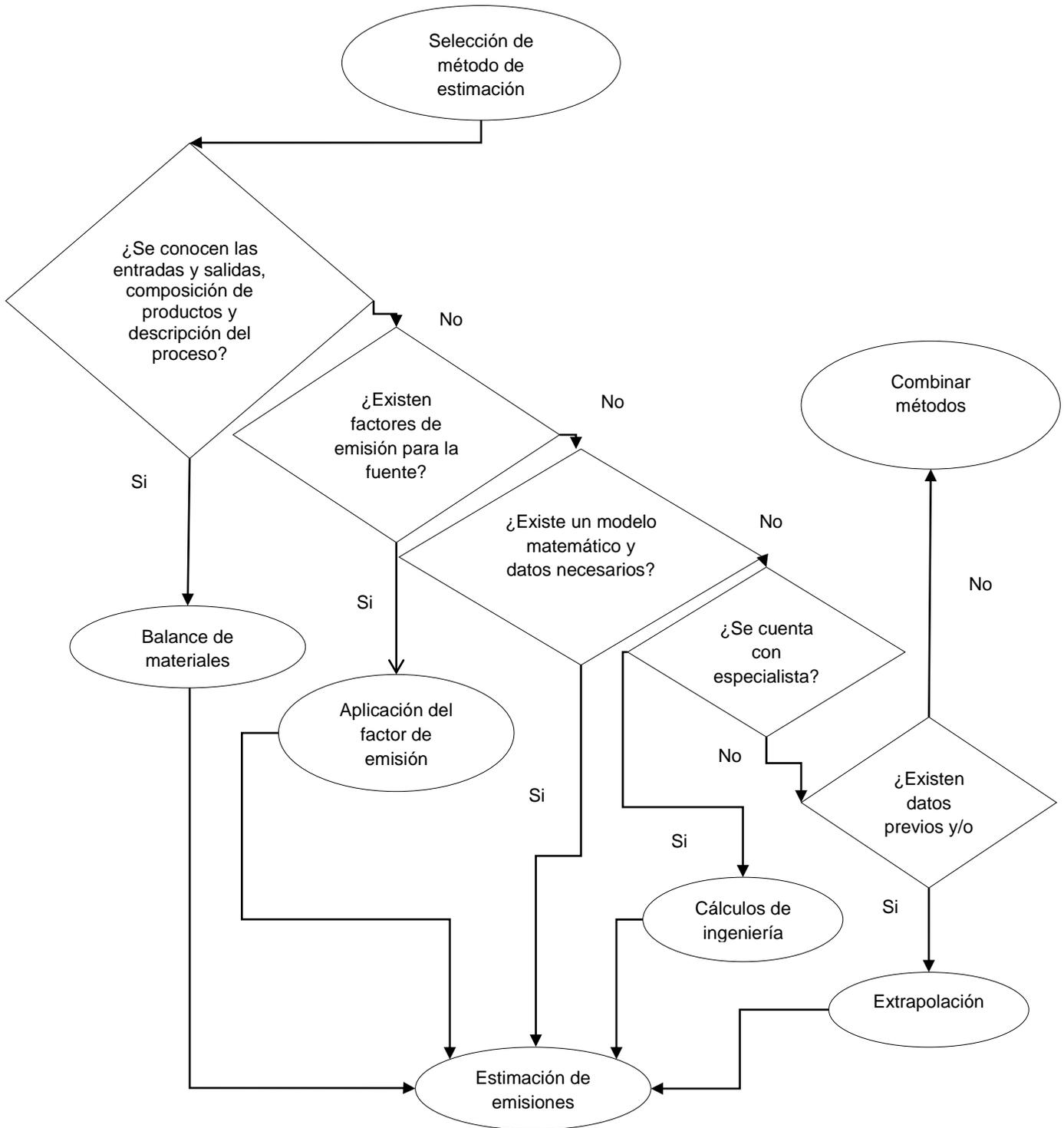


Una vez que se han seleccionado los contaminantes que forman nuestro inventario (ya se conoce el medio, la forma de emisión y las principales características del contaminante), la siguiente etapa corresponde al análisis de los posibles métodos de estimación indirecta y su selección.

3.3 Selección del método de estimación

Los métodos indirectos de estimación de emisiones son muy variados (ver apartado 2.3) y cada uno requiere de diferente información para su aplicación, es por eso, que partiendo del proceso del que se genera la emisión (combustión, volatilización, etc.) y la disponibilidad de información, se selecciona el método más adecuado para hacer los cálculos (ver figura 3.8).

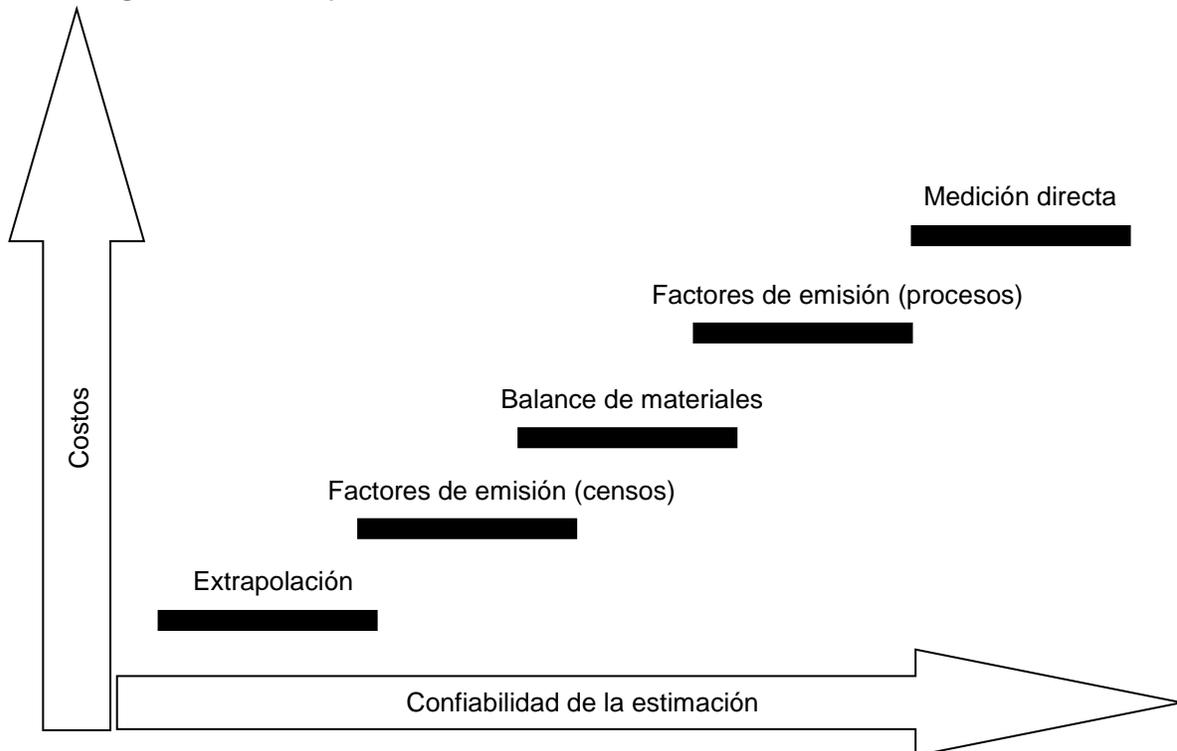
Figura 3.8 Selección del método de estimación



El diagrama anterior representa de forma sintetizada los pasos para seleccionar un método de estimación; sin embargo cada investigador deberá decidir, de acuerdo con su experiencia y características del proceso, el método que considere

más conveniente. En ocasiones se deben combinar los métodos para poder realizar los cálculos o usar un método para cada contaminante que se evalúa. Uno de los puntos que también se debe considerar es la confiabilidad y el costo del método a utilizar (ver figura 3.9); generalmente, entre más confiable sea la estimación mayor será el costo.

Figura 3.9 Jerarquización de los métodos de estimación de emisiones



Fuente: Adaptación libre de SEMARNAT (2012)

Finalmente, con la certeza de que el método seleccionado es el que mejor se ajusta a la información disponible para una fuente de emisión, el último paso de la metodología es el cálculo de las emisiones y la elaboración de una base de datos adecuada.

3.4 Estimación de emisiones y administración de datos

El cálculo de emisiones se debe realizar con base en la descripción del proceso y la información disponible: venta y composición de un producto, número de empleados, número de talleres, cantidad de combustible consumido, importaciones, exportaciones, accidentes, etc. Al contar con más información se podrá hacer una estimación de emisiones más precisa pero, sobre todo, mejor sustentada. Además, se podrá elaborar una representación gráfica geo-referenciada de las emisiones para detectar fácilmente los sitios con mayores niveles de emisión.

En México existen un gran número de bases de datos (sistemas de información) que permiten la consulta gratuita de datos como: indicadores demográficos y de comercio internacional; incluso, datos estadísticos de entidades económicas registradas en el país para todos los sectores económicos. Estas bases de datos permiten construir un Sistema de Información Geográfico para los inventarios de emisiones elaborados siguiendo la metodología propuesta en este trabajo.

Algunos de los sistemas de información que se recomienda utilizar, para el desarrollo de un inventario de emisiones, son los siguientes:

- 1) INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática).** Este sitio contiene información estadística y geográfica del país, se forma de un gran número de sistemas de información; datos sobre indicadores demográficos, estudios geográficos del país y estadísticas ambientales las cuales se pueden consultar al ingresar a este portal de internet (Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>)
- 2) DENUE (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas).** Presenta, de manera gratuita, la información correspondiente a la ubicación e identificación de las entidades económicas activas en el país. Al ingresar a este sistema se puede generar una búsqueda de establecimientos y concentrarlos en un mapa (Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>)
- 3) SIAVI (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet).** Proporciona información acerca de clasificaciones arancelarias de productos que son exportados o importados al territorio nacional (Disponible en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/204-comunidad-de-negocios/sistemas-de-informacion/7687-sistema-de-informacion-arancelaria-via-internet>).

Para la administración de la información, de las emisiones estimadas de contaminantes, se debe hacer uso de sistemas de información. Un sistema de información (SI) se define como: “La combinación organizada de personas, hardware, software, redes de comunicación y recursos de información que almacene, recupere, transforme y discrimine información” (Burch y Grudnitski, 1992). Dentro de un SI se deben realizar cuatro procesos básicos:

- 1. Entrada de información:** Proceso por medio del cual se capturan los datos que se requieren para la generación de información. Las entradas pueden ser manuales o automáticas. Las primeras son aquellas que se proporcionan en forma directa por el usuario, mientras que las automáticas son datos que provienen de otros sistemas o módulos.
- 2. Almacenamiento de información:** El almacenamiento es considerado como una de las actividades o capacidades con mayor importancia; a través de

este proceso se puede acceder a los datos capturados y a la información generada.

3. **Procesamiento de información:** Es la etapa en donde se llevan al cabo los cálculos (procesamiento) de acuerdo con una secuencia de operaciones lógicas preestablecidas. Estas operaciones pueden efectuarse con datos introducidos recientemente en el sistema o bien con los datos que están almacenados. Esta característica de los SI permite la transformación de datos en información que es utilizada para la toma de decisiones.
4. **Salida de información:** Es la capacidad de entregar la información de forma sintetizada y oportuna. La salida de información de un SI puede ser la entrada a otro.

La administración de la información, dentro de un SI, permite aproximar el error de la metodología propuesta al desarrollar una base de datos históricos. Además, permite la "comparación con" e "inclusión dentro" de los siguientes sistemas de información (ver apartado 2.4):

INEM. La información correspondiente a inventarios de emisiones hechos en México se presentan en el sub-sistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (Disponible en: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php>).

RETC. Permite la consulta de las emisiones y transferencias de 104 contaminantes emitidos por las industrias de jurisdicción federal (Disponible en: [http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire /paginas/retc.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/paginas/retc.aspx)).

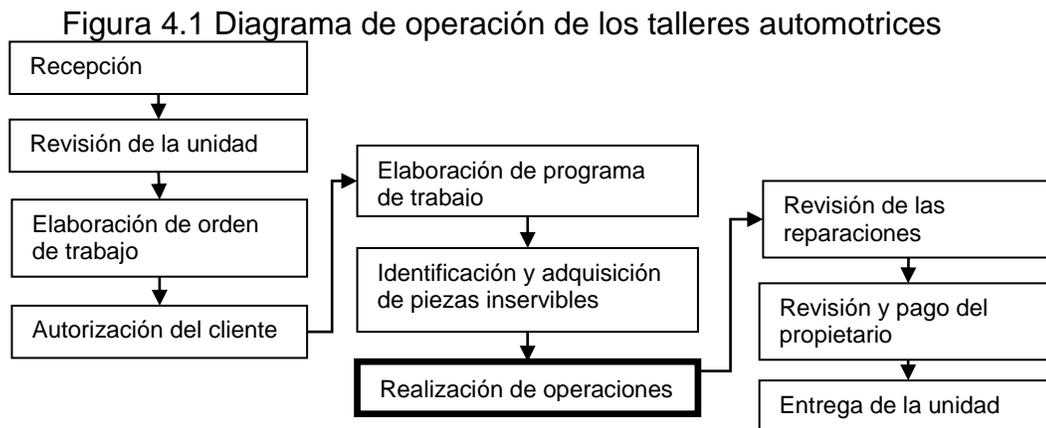
La metodología planteada brinda una ayuda guiada al lector en su camino al cálculo de emisiones mediante la aplicación de métodos indirectos de estimación, cabe señalar que las fuentes, los procesos y los contaminantes son numerosos y cada uno presenta características que pueden ser de interés para determinadas personas, por ello, es necesario definir cuál es la razón para análisis, ya que si no se tiene claro desde un principio es posible perder recursos como tiempo o dinero. Para dar al lector un ejemplo de la metodología, ésta será aplicada al cálculo de emisiones por el repintado automotriz, dando paso al siguiente capítulo que presenta la teoría del proceso sobre dicha fuente.

4 Repintado automotriz

Aquellas personas que han tenido un automóvil conocen la necesidad de que su vehículo no sólo opere bajo condiciones de seguridad y confort, para lo cual se requiere darle un mantenimiento periódico; sino que además se le deben hacer reparaciones a causa de accidentes que dañan su apariencia.

Los talleres automotrices son la opción más común para el mantenimiento y reparación. Pero por su funcionamiento (coordinación interna entre factores financieros, materiales, técnicos y humanos) no siempre ofrecen a sus clientes un servicio de calidad ni proporcionan áreas seguras de trabajo para los operarios. La mayoría, son fuentes de empleo para personas que poseen conocimientos y habilidades sobre automóviles y pintura, aunque no necesariamente posean cursos formales de capacitación. Los operarios tienen en promedio 32 años, pertenecen al sexo masculino y su escolaridad se encuentra entre los niveles de secundaria y preparatoria (Capacita, 2005).

El creciente mercado de la industria automotriz provoca el aumento del número de talleres automotrices existentes en nuestro país. Generalmente el número de trabajadores ocupados en estos talleres es reducido pudiendo, inclusive, ser una sola persona la que realiza todas las operaciones. Además, no todos los talleres realizan todo tipo de mantenimiento y reparaciones, por lo cual en ocasiones se debe acudir a varios talleres para que la unidad sea completamente reparada. Pero, dentro de la mayoría de estos talleres se opera bajo el mismo esquema (ver figura 4.1).



Fuente: Capacita (2005)

Las etapas presentadas en el diagrama anterior son de carácter administrativo y de operación, debiendo aclarar que el presente capítulo está dedicado solamente a la descripción de las actividades dentro de la etapa operativa, ya que es allí donde se emplean y emiten los contaminantes de interés para esta tesis.

En los siguientes dos apartados se presenta la descripción del proceso y la identificación de contaminantes, según lo establecido en la metodología propuesta en el capítulo anterior.

4.1 Descripción del proceso

El proceso de repintado automotriz es el pintado de carrocería, posterior al que el vehículo recibió originalmente en la fábrica automotriz. Abarca el uso de solventes, disolventes, catalizadores y pinturas con altas concentraciones de COV.

Cuando un vehículo llega al taller para recibir trabajos de pintura, pasa por diferentes etapas: determinación del nivel de daño, igualado de la pintura, preparación de la superficie, pintado y abrillantado; dichas etapas son detalladas a continuación (Chapista, 2013):

1) Nivel de daño. Consiste en hacer una evaluación del daño que presenta el vehículo en la carrocería, clasificándose en:

1 Pieza nueva: En este nivel de daño se requiere sustituir y pintar una pieza por completo, como ejemplo de las principales partes sustituidas de este tipo de daño se tienen defensas y puertas.

2 Pintado superficial: Se requiere únicamente el pintado de partes exteriores que precisen acabados superficiales.

3 Pintado daño leve: Se trabaja sobre partes con abolladuras, golpes ligeros, ataques de corrosión y arañazos. Dentro de este nivel se encuentran aquellos daños que no sobrepasan el 8% con respecto a la superficie total de la pieza (figura 4.2).

Figura 4.2 Nivel 3: Pintado daño leve



Fuente: Chapista (2013)

4 Pintado daño medio: Se pintan partes del vehículo con daños que involucran uno o más golpes, la superficie dañada está entre el 8 y el 25% con relación a la superficie total de la pieza (figura 4.3)

Figura 4.3 Nivel 4: Pintado daño medio



Fuente: Chapista (2013)

5 Pintado daño fuerte: Los daños en la pieza a pintar se componen de uno o más golpes, la superficie a pintar supera al 25% con respecto al total de la pieza (figura 4.4)

Figura 4.4 Nivel 5: Pintado daño fuerte



Fuente: Chapista (2013)

Una vez terminada la evaluación del daño se iguala la pintura, etapa en la cual el operario realiza pruebas para encontrar el color de la pieza original.

2) Igualado de la pintura. El operario observa detalladamente la pieza a pintar colocándola a la luz del sol, para ver el tono de la pintura. En este paso se determinan los colores necesarios para obtener el tono deseado; ya identificados se realiza el mezclado de forma manual o automática para posteriormente hacer pruebas de aplicación sobre una superficie metálica y analizar otra vez, a contraluz, si se ha encontrado el tono adecuado.

La pintura y el número de productos requeridos dependen totalmente del acabado que presente la carrocería, esos serán detallados en el apartado de pintado para mayor comprensión. A pesar de ser una etapa sencilla, los trabajos requieren de gran experiencia para ofrecer un servicio de calidad; como es de esperarse, la mayoría de los talleres no cuentan con equipo óptico para el igualado y se basan únicamente en procesos de prueba y error.

Con el tono igualado y antes de comenzar con la aplicación de la pintura, es necesario dar una preparación especial a la superficie dañada para obtener una mejor calidad de la reparación.

3) Preparación de la superficie. Esta etapa conlleva no sólo la limpieza de la pieza de trabajo sino requiere además la aplicación de productos que favorecen el proceso de pintado. Incluye las cuatro operaciones que se describen a continuación junto con las listas de productos utilizados en cada una. La información correspondiente a cada producto y su composición, fue obtenida de la página oficial de DUPONT, empresa reconocida por la calidad de sus productos¹² (DUPONT, 2013 y Quiroz, 2013).

Por otra parte, debemos recordar que el número CAS¹³ es una identificación numérica única de la Sociedad Química Americana para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones; por lo que, cuando el ingrediente de un producto no posee una composición fija o conocida (como en el caso del "componente sólido") en la tabla correspondiente aparece NA; mientras que ND se usa cuando el proveedor no proporciona la composición (seguramente por secreto industrial).

1 Limpieza y desengrasado: Se realiza para obtener una superficie libre de impurezas. Antes de aplicar algún desengrasante se recomienda lavar con agua y jabón para quitar polvo y partículas; el desengrasante utilizado con mayor frecuencia, debido a su bajo costo y multifuncionalidad (puede ser utilizado como disolvente, solvente o como limpiador), es el thinner, que deja la superficie libre de suciedad, insectos, partículas y cualquier material que afecte la calidad del pintado. Su aplicación se realiza con trapos de algodón y estopas. El thinner es una mezcla de solventes; ver tabla 4.1.

Tabla 4.1 Composición del thinner

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
1330-20-7	Xileno	5
100-41-4	Etilbenceno	1
67-63-0	Alcohol isopropílico	ND
108-88-3	Tolueno	26
867-56-1	Alcohol metílico	10
78-93-3	Metil-etil-cetona	ND
71-36-3	Alcohol n-butílico	3

Fuente: DUPONT (2013)

2 Nivelación de la superficie: Dependiendo del nivel de daño del vehículo, se selecciona el producto para llevar al cabo la nivelación, puede emplearse

¹² Se debe aclarar que cuando la concentración de un ingrediente no se indica, es porque así aparece en la etiqueta del proveedor (DUPONT, 2013), ya sea porque ésta puede variar o porque es parte de la fórmula industrial.

¹³ Chemical Abstract Service

masilla o rellenedor. La masilla (tabla 4.2) sirve para nivelar la superficie dañada, proporcionando un buen acabado superficial. Se recomienda para pequeños rayones o golpes de piedra (daño leve). La forma de aplicación de la masilla es con espátula (ver figura 4.5), aunque existen casos en los cuales se realiza por medio de una pistola.

Tabla 4.2 Composición de la masilla

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
14807-96-6	Talco (libre de sílice y fibras)	30-40
7727-43-7	Sulfato de bario	20-30
NA	Componente sólido	10-20
1330-20-7	Xileno	9
71-36-3	Alcohol N-butílico	2
123-86-4	Ácido acético	1-5
141-78-6	Acetato de etilo	1-5
1309-37-1	Óxido de hierro	1-5
110-19-0	Acetato de isobutilo	1-5
67-63-0	Alcohol isopropílico	1-5
9004-70-0	Nitrocelulosa	1-5
68515-40-2	Octil-bencil-ftalato	1-5
108-65-6	Acetato de monometileter de propilenglicol	1-5

Fuente: DUPONT (2013)

Figura 4.5 Proceso de enmasillado



Fuente: CESVI (2013)

El rellenedor (tabla 4.3) ayuda a realizar nivelaciones de áreas grandes sin dejar poros (ver figura 4.6), además es fácil de moldear y lijar. Su aplicación reduce el tiempo de preparación de la superficie y mejora la calidad de la reparación. Su aplicación es con una cuña.

Figura 4.6 Superficie con aplicación de rellenedor



Como se puede observar en la imagen anterior, el producto se aplicó sobre una gran parte del total de la superficie a pintar, esto ayuda a que la superficie se encuentre nivelada sin ningún tipo de grietas.

Tabla 4.3 Composición del rellenedor

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
ND	Resina de poliéster	ND
14808-60-7	Cuarzo (dióxido de silicio)	2
123-86-4	Ácido acético	ND
1330-20-7	Xileno	8
100-42-5	Estireno	15
1317-65-3	Carbonato de calcio (piedra caliza)	ND
14807-96-6	Talco (libre de sílice y fibras)	ND
546-93-0	Magnesita	ND
1318-59-8	Clorito	ND

Fuente: DUPONT (2013)

Para reducir el tiempo de secado del rellenedor se debe utilizar un catalizador, al 2% de la mezcla total, cuya composición se presenta en la tabla siguiente (4.4):

Tabla 4.4 Composición catalizador para rellenedor

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
557-05-1	Estereato de zinc	5
94-36-0	Peróxido de benzoilo	38
ND	Surfactante	ND
136-60-7	Benzoato de butilo	ND
7732-18-5	Agua	ND
41147-14-8	Pigmento azul	2
7778-18-9	Sulfato de calcio	ND

Fuente: DUPONT (2013)

Cuando los productos han secado se debe lijar la superficie para incrementar la adherencia de los productos siguientes y mejorar el acabado. El lijado se realiza a máquina o a mano, ambos en seco.

3 Imprimación. Como paso previo a la aplicación de la pintura se brinda a la superficie una capa de protección anticorrosiva, el producto que se utiliza en este caso es el primario, mejor conocido como *primer* (tabla 4.5).

Tabla 4.5 Composición del Primario

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
25133-97-5*	Polímero acrílico	10.0-20.0
123-86-4	Ácido acético	10.0-20.0
14807-96-6	Talco (libre de sílice y fibras)	10.0-20.0
66402-68-4	Caolín calcinado	5.0-10.0
13983-17-0	Silicato de calcio mineral	5.0-10.0
13463-67-7	Dióxido de titanio	4.90
1330-20-7	Xileno	4.0
71-36-3	Alcohol N-butílico	3.0
1314-13-2	Óxido de zinc	2.0
7727-43-7	Sulfato de bario	1.0-5.0
110-43-0	Amil metil cetona	1.0-5.0
7757-93-9	Calcio fosfato dibásico	1.0-5.0
107-98-2	Eter monometílico del propilenglicol	1.0-5.0
1333-86-4	Negro de carbón	0.10

*El número CAS que se muestra es para un compuesto similar (nota del proveedor).
Fuente: DUPONT (2013)

Para aplicar el primario se hace uso de una pistola aerográfica y se forman tres capas de protección (ver figura 4.7); el tiempo de secado entre capa y capa es de 5-10 minutos y de 45-90 minutos antes de realizar el lijado.

Figura 4.7 Proceso de imprimación



Fuente: CESVI (2013)

Algunas veces, esta operación se realiza antes y después de la nivelación de la superficie para aumentar la protección anticorrosiva y mejorar la adherencia de la pintura.

La aplicación del primer requiere utilizar thinner como producto adicional, mezclado en relación 1:1. El thinner que se utiliza puede ser el universal, usado para limpieza (ver tabla 4.1) o el conocido como thinner para primario (tabla 4.6).

Tabla 4.6 Composición del thinner para primario

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
ND	Solvente	ND
111-76-2	Monobutil glicol éter	4
67-63-0	Alcohol isopropílico	ND
108-88-3	Tolueno	40
67-64-1	Acetona	ND

Fuente: DUPONT (2013)

Al aplicar el primario la superficie toma un tono opaco (ver figura 4.8) y se pueden detectar imperfecciones (grietas) en la superficie cuando el producto ha secado, para eliminarlas se utiliza el novoplaste (ver tabla 4.7). Tiempo después de su aplicación y secado se cubre la pieza trabajada con una nueva capa de *primer*.

Figura 4.8 Superficie con aplicación de primario



Si por algún motivo no se llegaron a detectar estas imperfecciones, la pieza las conservará aún con la aplicación de varias capas de pintura, lo cual representa un trabajo de mala calidad.

Tabla 4.7 Composición del novoplaste

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
13463-67-7	Dióxido de titanio	7.7
ND	Pigmento azul	ND
84-74-2	Ftalato de dibutilo	3.0
142-82-5	Heptano	ND
67-63-0	Alcohol isopropílico	ND
108-88-3	Tolueno	17.0
108-10-1	Metil-isobutil-cetona	5.0
78-93-3	Metil-etil-cetona	ND
67-64-1	Acetona	ND
68038-41-5	Resina	ND
ND	Derivado del aceite de ricino	ND
9004-70-0	Nitrocelulosa	ND
14807-96-6	Talco (libre de sílice y fibras)	ND
7727-43-7	Sulfato de bario	ND

Fuente: DUPONT (2013)

4 Aparejamiento. Se realiza con un lijado suave de la superficie eliminando pequeños defectos como partículas de suciedad y restos de productos (figura 4.9); es la última etapa de preparación de la superficie y ya no presenta ningún tipo de ranura o golpe.

Figura 4.9 Proceso de aparejamiento



Fuente: CESVI (2013)

4) Pintado. Se aplica una de las últimas capas de protección a la superficie reparada y proporciona color a la carrocería del automóvil (figura 4.10). Dependiendo de las características del pintado original, se decide sobre el acabado necesario para la reparación; estos son: monocapa, bicapa y, en carrocerías especiales, el tricapa.

Figura 4.10 Proceso de pintado



Fuente: CESVI (2013)

1 Monocapa. Se aplica únicamente la pintura, sin agregar una capa de transparente (laca). La pintura proporciona las características de color, protección y acabado lustroso. A este tipo de acabado también se le conoce como “pintura de brillo perfecto”.

El producto base para este acabado es el Chroma One de Dupont, que no tiene especificado los colores utilizados, por ello no se cuenta con la composición de la pintura pero si de los productos adicionales: el catalizador

(tabla 4.8), para que la mezcla de los productos sea uniforme, y el reductor (tabla 4.9) que se emplea para acelerar el secado de la pintura.

Tabla 4.8 Composición del catalizador para pintura monocapa

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
28182-81-2	Resina de polisocianato alifático	60-70
123-86-4	Ácido acético	10-20
141-78-6	Acetato de etilo	5-10
95-63-6	1,2,4-trimetil benceno	1
64742-95-6	Hidrocarburo aromático	1-5
108-83-8	Disobitil cetona	1-5

Fuente: DUPONT (2013)

Tabla 4.9 Composición del reductor para pintura monocapa

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
123-86-4	Ácido acético	50-60
78-93-3	Metil-etil-cetona	30-40
141-78-6	Acetato de etilo	5-10
110-43-0	Amil metil cetona	5-10

Fuente: DUPONT (2013)

2 Bicapa. En el acabado bicapa se realiza la aplicación de dos productos, el primero es la pintura (además de productos complementarios), denominada "base de color" (tabla 4.10), que se aplica en 2 a 3 capas con una pistola aerográfica dejando un secado entre capas de 5-10 y de 15-30 minutos antes del siguiente producto. La pintura se mezcla, en una proporción 1:1, con un producto complementario conocido como "convertidor para bicapa" (tabla 4.11).

Tabla 4.10 Composición de la pintura para acabado bicapa

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
108-88-3	Tolueno	12
71-36-3	Alcohol n-butílico	3
123-86-4	Ácido acético	ND
9004-36-8	Acetato-butirato de celulosa	ND
24937-78-8	Acetato de vinilo	ND
25133-97-5	Polímero acrílico	ND
1330-20-7	Xileno	11
100-41-4	Etilbenceno	3
108-65-6	Acetato de monometileter de propilenglicol	ND
141-78-6	Acetato de etilo	ND
67-63-0	Alcohol isopropílico	ND
13463-67-7	Dióxido de titanio	23.6

Fuente: DUPONT (2013)

Tabla 4.11 Composición del convertidor para pintura acabado bicapa

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
1330-20-7	Xileno	10
100-41-4	Etilbenceno	2
142-82-5	Heptano	ND
110-43-0	Amil-metil-cetona	ND
67-63-0	Alcohol isopropílico	ND
108-88-3	Tolueno	2
108-10-1	Metil-isobutil-cetona	6
67-64-1	Acetona	ND
78-83-1	Alcohol isobutílico	ND

Fuente: DUPONT (2013)

El segundo producto es el "transparente" (tabla 4.12), el cual brinda un acabado lustroso a la carrocería. El número de capas es de 2 a 3 con un tiempo de secado entre capas de 5-10 minutos. Antes de realizar el lijado final se debe esperar de 30-45 minutos.

Tabla 4.12 Composición del transparente

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
ND	Agentes de nivelación, con silicona	ND
123-86-4	Ácido acético	ND
108-88-3	Tolueno	20
141-78-6	Acetato de etilo	ND
100-41-4	Etilbenceno	7
1330-20-7	Xileno	29
ND	Polímero acrílico	ND
ND	Resina	ND

Fuente: DUPONT (2013)

Al utilizar el transparente es necesario añadir un catalizador (tabla 4.13) especial para este producto; la relación de la mezcla es de 6 a 1.

Tabla 4.13 Catalizador para transparente

No CAS	Compuesto químico	Concentración [%]
64742-95-6	Nafta aromática tipo 1	ND
1330-20-7	Xileno	22
100-41-4	Etilbenceno	5
141-78-6	Acetato de etilo	ND
108-88-3	Tolueno	4
123-86-4	Ácido acético	ND
28182-81-2	Resina de polisocianato alifático	ND

Fuente: DUPONT (2013)

3 Tricapa. Se emplean tres productos diferentes para este acabado. Los primeros son los ya descritos en el acabado bicapa, el tercer producto proporciona a la carrocería una capa más de acabado lustroso, se agrega un transparente que presenta puntos brillosos; con este tipo de acabado las

carrocerías presentan un tono lustroso perlado. Dado que este tipo de acabado es costoso, por el número de productos involucrados, se utiliza poco en nuestro país por lo que aquí no se incluye la composición de los productos utilizados.

5) Abrillantado. Independientemente del tipo de acabado que se haya empleado en la etapa de pintado, se debe realizar un pulido para resaltar la apariencia lustrosa de la carrocería. Se recomienda esperar entre 12 y 24 horas antes de realizar el pulido el cual se realiza con un abrillantador libre de solventes, en una pulidora de borle de lana a una velocidad entre 1200-1800 [rpm].

4.2 Identificación de contaminantes

Como se pudo observar durante la explicación del proceso de repintado, se requiere de diversos productos para realizar cada una de las etapas del pintado de carrocerías y, de acuerdo con su composición, pueden presentar diversos riesgos para la salud de los trabajadores. En la tabla 4.14 se presentan, de manera sintetizada, todos los productos involucrados en el proceso, indicando la etapa en que se utilizan.

Tabla 4.14 Resumen de productos para repintado automotriz

Productos	Etapa del proceso		
	Igualado	Preparación de la superficie	Pintado
Thinner	x	x	x
Rellenador		x	
Catalizador para rellenos (Catalizador R)		x	
Novo plaste		x	
Masilla		x	
Primario universal (PU)		x	
Thinner para primario universal (Thinner PU)		x	
Catalizador de pintura, acabado monocapa (Catalizador PAM)	x		x
Reductor para pintura, acabado monocapa	x		x
Pintura para acabado bicapa (PAB)	x		x
Convertidor para pintura acabado bicapa	x		x
Transparente			x
Catalizador para transparente (Catalizador T)			x

Finalmente, la tabla 4.15 muestra, para cada uno de los 13 productos empleados su composición química, la cual será empleada para evaluar la importancia del producto en el proceso y los riesgos para la salud de los operarios.

4.15 Resumen composición química de los productos

No CAS	Compuesto químico	Producto												
		Thinner	Reellenador	Catalizador R	Novo plaste	Masilla	PU	Thinner PU	Catalizador PAM	Reductor	PAM	Convertidor	Transparente	Catalizador T
95-63-6	1,2,4-trimetil benceno								x					
110-19-0	Acetato de isobutilo					x								
141-78-6	Acetato de etilo					x		x	x	x		x	x	
24937-78-8	Acetato de vinilo									x				
108-65-6	Acetato de monometileter de propilenglicol					x				x				
9004-36-8	Acetato-butirato de celulosa									x				
67-64-1	Acetona			x			x				x			
123-86-4	Ácido acético		x			x	x	x	x	x		x	x	
ND	Agentes de nivelación, contienen silicona											x		
7732-18-5	Agua			x										
78-83-1	Alcohol isobutílico										x			
67-63-0	Alcohol isopropílico	x		x	x		x			x	x			
67-56-1	Alcohol metílico	x												
71-36-3	Alcohol N-butílico	x				x	x			x				
110-43-0	Amil-metil cetona						x		x		x			
136-60-7	Benzoato de butilo			x										
7757-93-9	Calcio fosfato dibásico						x							
66402-68-4	Caolín calcinado						x							
1317-65-3	Carbonato de calcio		x											
1318-59-8	Clorito		x											
NA	Componente sólido					x								
ND	Derivado de aceite de ricino				x									
14808-60-7	Dióxido de silicio		x											
13463-67-7	Dióxido de titanio				x		x			x				
108-83-8	Disobitil cetona							x						
557-05-1	Estereato de zinc			x										
100-42-5	Estireno		x											
107-98-2	Eter monometílico de propilen-glicol						x							
100-41-4	Etil-benceno	x								x	x	x	x	
84-74-2	Ftalato de dibutilo				x									
142-82-5	Heptano				x						x			
64742-95-6	Hidrocarburo aromático							x					x	
546-93-0	Magnesita		x											
78-93-3	Metil-etil-cetona	x			x				x					
108-10-1	Metil-isobutil-cetona				x						x			
111-76-2	Monobutil glicol éter							x						
1333-86-4	Negro de carbón						x							
9004-70-0	Nitrocelulosa				x	x								

68515-40-2	Octil-bencil-ftalato					x								
1309-37-1	Óxido de hierro					x								
1314-13-2	Óxido de zinc						x							
94-36-0	Peróxido de benzoilo			x										
41147-14-8	Pigmento azul ¹			x	x ¹									
25133-97-5	Polímero acrílico						x				x		x ¹	
68038-41-5	Resina ¹				x								x ¹	
ND	Resina de poliéster		x											
28182-81-2	Resina de polisocianato alifático								x					x
13983-17-0	Silicato de calcio mineral						x							
ND	Solvente							x						
7727-43-7	Sulfato de bario				x	x	x							
7778-18-9	Sulfato de calcio			x										
ND	Surfactante			x										
14807-96-6	Talco (libre de sílice y fibras)		x		x	x	x							
108-88-3	Tolueno	x			x			x			x	x	x	x
1330-20-7	Xileno	x	x				x	x			x	x	x	x

ND: No disponible. El proveedor no proporciona el número CAS correspondiente a la sustancia.

NA: No aplica. No se conoce la composición de la sustancia

1: Cuando el mismo nombre de una sustancia aparece en varios productos y en alguno de ellos no se indica el número CAS, se considera que se trata de la misma sustancia

A partir de esta tabla, y de los porcentajes de los COV que componen los diferentes productos, se realizó la estimación de las emisiones contaminantes que se presenta en el siguiente capítulo.

Sin embargo, antes de realizar la estimación para cada uno de los diferentes compuestos orgánicos volátiles seleccionados (ver sección 5.3), se realizó una estimación global de COV a partir del contenido promedio de COV que emplea la Secretaría del Medio Ambiente en la actualización del INEM 2008 (ver tabla 4.16).

Tabla 4.16 Contenido promedio de COV por tipo de producto para el repintado

Producto	Contenido promedio de COV [Kg/L]
Rellenador	0.70
Masilla (Resanador)	0.55
Primario	0.58
Pintura acabado bicapa (laca acrílica)	0.53
Pintura acabado monocapa (esmalte acrílico)	0.54
Transparente (poliuretanos)	0.58
Otros	0.74

Fuente: INEM (2008)

La masilla, la pintura de acabado monocapa, la pintura de acabado bicapa y el transparente aparecen en el inventario del INEM como: resanador, laca acrílica, esmalte acrílico y poliuretanos, respectivamente, por lo que se han conservado ambos nombres en la tabla anterior. En el caso de la categoría de "Otros", ésta incluye a productos adicionales como catalizadores, disolventes y desengrasantes. Fue posible encontrar la relación entre los nombres señalados al preguntar a Francisco Quiroz Rosas dueño y operario único de un taller de repintado

automotriz, el cual prefirió no proporcionar el nombre de su negocio. Con la descripción del repintado automotriz y la información de la composición química de los productos es como termina este capítulo y se da paso al caso práctico de la metodología propuesta.

5 Caso práctico

En este capítulo se aplicó la metodología propuesta anteriormente para la estimación de emisiones, para lo cual se seleccionó como objeto de estudio el proceso de repintado automotriz en México; ya que dicho proceso genera emisiones de compuestos orgánicos volátiles que tienen repercusiones en el ambiente, en la salud de las personas y por tanto en la gestión de calidad del aire.

Para comenzar el desarrollo del capítulo, se presenta información sobre las características del proceso en México: número y tipo de accidentes terrestres, vehículos afectados, número de empleados, así como la cantidad de talleres registrados y sus características generales. Esta información proporciona un panorama de lo que hoy en día es el repintado automotriz en el país.

Como indica la primera parte de la metodología (ver figuras 3.1 y 3.2), se tiene que realizar la descripción sistemática y por etapas del proceso, la cual se elaboró detalladamente en el capítulo anterior y es la base de éste.

5.1 Descripción del repintado en México

Es común transitar por la calle y observar un gran número de talleres en los cuales se realizan reparaciones o servicio de mantenimiento vehicular. Sin embargo, no todos estos establecimientos cuentan con certificaciones que garanticen la calidad de las reparaciones ni que tengan áreas seguras para el trabajo de los operarios.

En el año 2012 en la República Mexicana, existían aproximadamente 27,000 talleres que no contaban con los requerimientos mínimos necesarios para dar un servicio de calidad a sus clientes (CESVI, 2012); estos, son conocidos como “banqueteros” y cuentan con cinco trabajadores como máximo. Los operarios suelen llamar al proceso “competencia entre billeteras”, ya que solo usarán productos de mejor calidad cuando el cliente los pague.

El no tener el equipo, instalaciones y los conocimientos necesarios para ofrecer un trabajo profesional implica, no únicamente dar un mal servicio, sino también un riesgo para los trabajadores y el ambiente debido al constante uso de productos que contienen compuestos orgánicos volátiles.

La cantidad de talleres existentes está relacionada con el tipo y número de accidentes que se presentan en el país, a causa de fallas mecánicas o descuidos de los conductores (ver tabla 5.1).

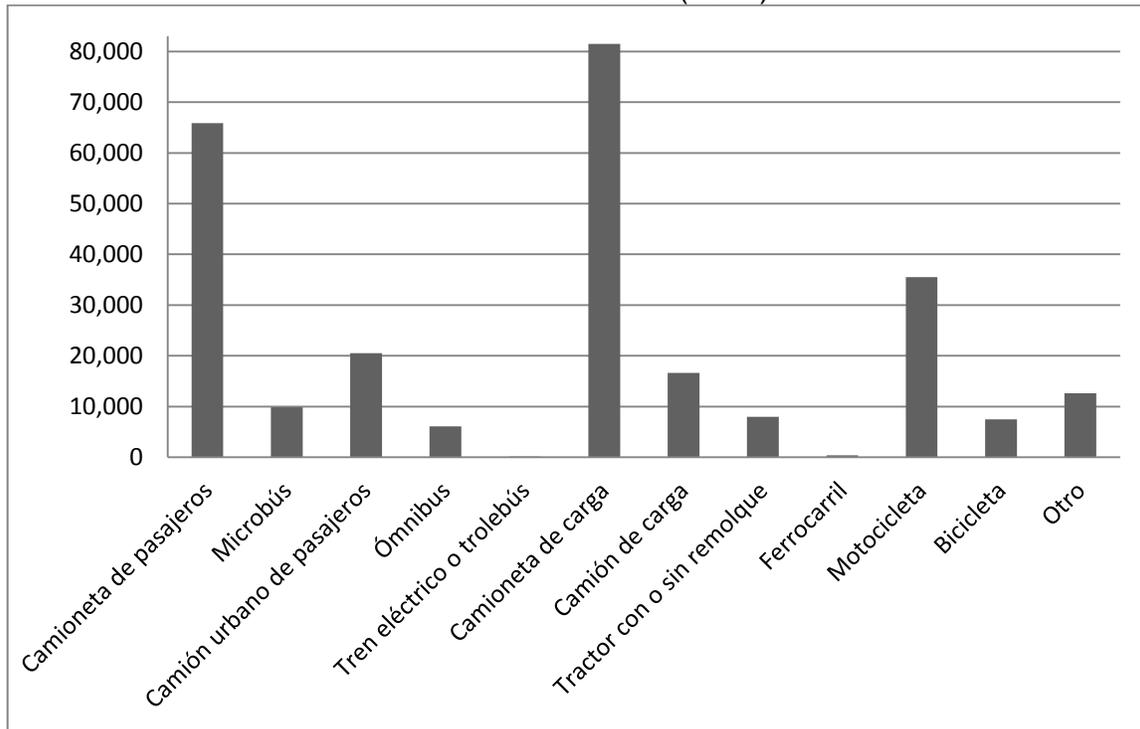
Tabla 5.1 Accidentes terrestres anuales, México (2011)

Tipo de accidente	Descripción	Cantidad
Fatal	Resultan pérdidas de vidas humanas, puede haber heridos y consecuentemente daños materiales	5,716
Semi fatal	No se presenta pérdida de vidas humanas, pero si heridos y daños materiales	87,769
Sólo daños materiales	En el percance únicamente se presentan daños materiales a vehículos y propiedades del estado	293,700
Total		387,185

Fuente: INEGI (2013)

Del total de accidentes se puede ver que la mayoría presentaron únicamente daños materiales, lo cual indica que los dueños debieron asistir a un taller automotriz para hacer reparaciones a su vehículo. El número total de vehículos involucrados en los 387,185 accidentes terrestres ocurridos en 2011, fue de 737,906, de los cuales 64% corresponde a automóviles y el resto se distribuye entre los diferentes tipos de vehículos que se muestran en la figura 5.1 (INEGI, 2013).

Figura 5.1 Vehículos, excluyendo automóviles, involucrados en accidentes terrestres en México (2011)



Fuente: INEGI (2013)

De aquí que el repintado sea común en todos los Estados del país. Asimismo, las entidades con alta concentración de talleres automotrices registrados son las que muestran un mayor número de accidentes terrestres (ver tabla 5.2); aunque esta relación no es necesariamente lineal: el Estado de México es el que tiene un

mayor número de talleres mientras que en Jalisco y Nuevo León se presentan el mayor número de accidentes.

Tabla 5.2 Estados con mayor número de talleres, empleados y accidentes automotrices

Estado	Número de talleres (2013)	Número de empleados (2011)	Número de accidentes terrestres (2011)
Estado de México	3,089	8,002	16,966
Veracruz de Ignacio de la Llave	2,228	5,354	7,793
Jalisco	2,112	7,172	54,691
Distrito Federal	2,038	7,504	16,466
Puebla	1,601	3,822	10,254
Michoacán de Ocampo	1,439	3,625	8,523
Guanajuato	1,353	3,791	18,088
Tamaulipas	1,260	3,201	11,378
Chihuahua	1,040	2,800	33,134
Chiapas	1,031	2,400	3,410
Nuevo León	1,012	4,001	57,529
Baja California	960	2,880	15,893
Sinaloa	928	2,642	11,660
Sonora	921	2,401	12,596

Fuentes: Número de talleres, DENUE (2013); Número de accidentes, INEGI (2013); Número de empleados, (INEM, 2008)

El número de talleres y empleados pertenecientes a repintado automotriz se obtuvo utilizando la categoría 81112 de las actividades económicas: "hojalatería, tapicería y otras reparaciones a la carrocería de automóviles y camiones", propuesta por el INEGI y usada para las actualizaciones del INEM (INEM, 2005).

Por otra parte, se debe hacer notar que el número de talleres presentados en la tabla anterior corresponde únicamente a aquellos que se encuentran registrados, no habiendo forma de cuantificar el gran número de personas y talleres que realizan el proceso de repintado sin ningún control por parte de las autoridades. Para propósitos de esta tesis se consideró que los talleres "banqueteros" se distribuyen en la misma proporción que los talleres autorizados en los diferentes Estados de la República y que los productos que consumen sí están cuantificados dentro de las ventas que reporta la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPyT).

Al analizar los niveles de accidentes, empleados y talleres resulta fácil entender los elevados niveles de ventas nacionales de productos para el repintado automotriz, reportados anualmente por ANAFAPyT (ver tabla 5.3).

Tabla 5.3 Ventas nacionales de productos para repintado automotriz, México (2008)

Producto	Porcentaje [%]	Ventas nacionales [L/año]
Rellenador	15.00	4,552,609.22
Masilla	3.80	1,154,009.71
Primario	13.00	3,944,912.62
Pintura acabado bicapa	11.10	3,368,930.83
Pintura acabado monocapa	28.10	8,527,190.53
Transparente	6.30	1,912,095.87
Otros	22.70	6,888,251.21
Total	100.00	30,348,000.00

Fuente: INEM (2008)

La actualización del reporte del año 2011 estimó ventas nacionales totales de 33,355,000 [litros/año], pero no se proporcionó el porcentaje vendido de cada producto (ANAFAPyT, 2011), por lo que, para propósitos de esta tesis, se consideró la misma proporción que la empleada por el INEM en el 2008. La distribución ajustada al 2011 se muestra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Ventas nacionales de productos para repintado automotriz, México (2011)

Producto	Porcentaje ¹ [%]	Ventas nacionales [m ³ /año]
Rellenador	15.00	5,003.70
Masilla	3.80	1,268.35
Primario	13.00	4,335.79
Pintura acabado bicapa	11.10	3,702.74
Pintura acabado monocapa	28.10	9,372.10
Transparente	6.30	2,101.55
Otros	22.70	7,570.77
Total	100.00	33,355.00

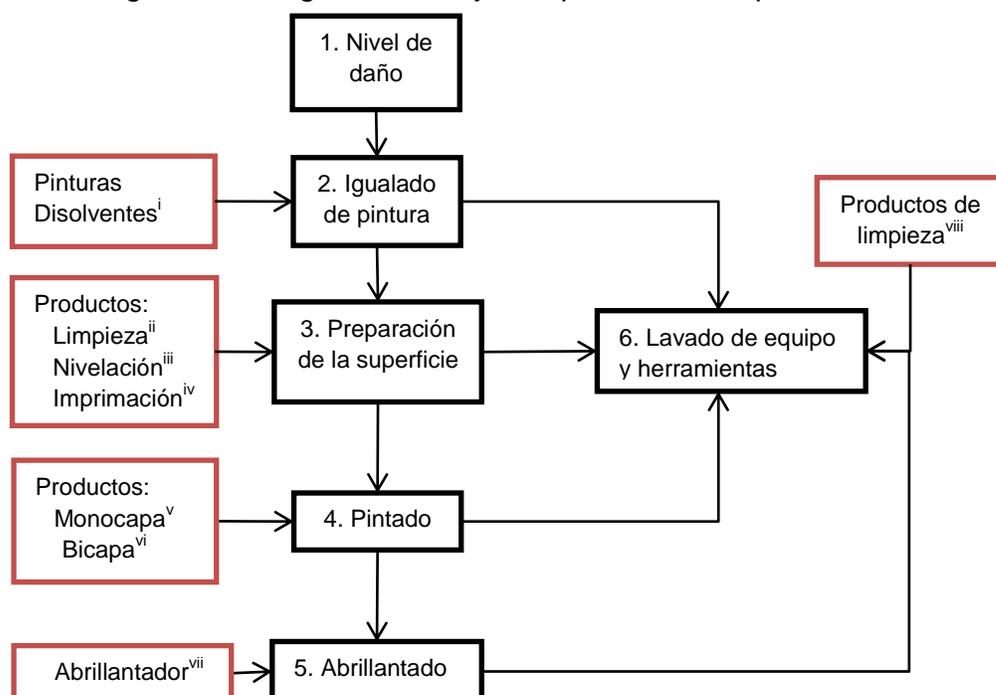
1. Porcentajes del 2008

Fuente: INEM (2008)

Una característica del repintado automotriz en México es que se realiza con pocas o nulas medidas de seguridad; los operarios de muchos talleres realizan las actividades al aire libre y aquellos que cuentan con equipo de seguridad (lentes, careta o guantes), suelen no utilizarlo por resultarles incomodo e ignorar los efectos crónicos asociados con los vapores que inhalan.

El panorama que nos muestra la información presentada resalta la importancia del repintado en el país y al mismo tiempo la relevancia de su análisis. De aquí que se justifique plenamente su selección como caso práctico para la aplicación de la metodología propuesta y por lo tanto a continuación se muestra el diagrama de proceso (figura 5.2) en el cual se observan las etapas de proceso y los productos utilizados en cada una de ellas.

Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso de repintado automotriz



i Se usa thinner para realizar pruebas de igualación de colores

ii Thinner

iii Masilla, rellenedor, catalizador para rellenedor

iv Primario, thinner para primario, novoplaste

v Catalizador pintura monocapa, reductor para pintura monocapa

vi Pintura bicapa, Convertidor para pintura acabado bicapa, transparente y catalizador para transparente

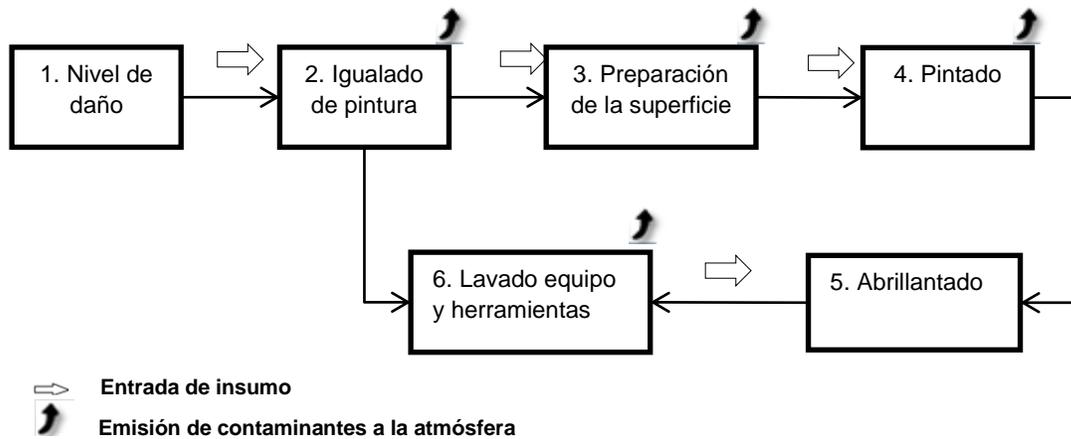
vii Libre de solventes

viii Uso de thinner para limpieza de equipo utilizado

En el diagrama de proceso también aparece el lavado de equipo y herramientas pues, a pesar de no ser una actividad principal del proceso, todas las herramientas y el equipo son lavados y desengrasados con productos con un alto contenido de COV, lo cual se determinó con la visita a las instalaciones de un taller de repintado.

Partiendo de este diagrama fue posible identificar los puntos de emisión de contaminantes atmosféricos, descargas de agua residual y producción de residuos sólidos y peligrosos; sin embargo, de acuerdo con el interés del presente trabajo, únicamente se realizó la cuantificación de los compuestos orgánicos volátiles, por ser la información requerida para la actualización del INEM 2011 (ver figura 5.3).

Figura 5.3 Diagrama de emisiones del repintado automotriz



5.2 Identificación de contaminantes

Los contaminantes emitidos por este proceso dependen directamente de la composición química de los productos utilizados (ver tabla 4.15). En la tabla 5.5 se enlistan nuevamente las sustancias que intervienen en el proceso, la temperatura de ebullición y su clasificación dentro del grupo de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV); para la elaboración de esta tabla se eliminaron aquellas sustancias para las cuales no se conoce el número CAS y por tanto no es posible obtener información de la misma, y las que se sabe de antemano no son compuestos orgánicos volátiles. La información presentada en esta tabla fue obtenida principalmente de dos bases de datos:

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (gobierno de España), disponible en: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=4458908b51593110VgnVM100000dc0ca8c0RCRD&ce=&rtecs=&nu=&einecs=&y=14&cas=7778-18-9&x=17&icsc=&text=>
- Grupo Porvenir. El cual ofrece servicios para seguridad en prevención de riesgos laborales, disponible en: <http://www.grupoprevenir.es/fichas-seguridad-sustancias-quimicas/0987.htm>

Tabla 5.5 Compuestos volátiles en los productos de repintado automotriz

No CAS	Compuesto químico	Punto de ebullición [°C]	Clasificación
95-63-6	1,2,4-trimetil benceno	169	Volátil
141-78-6	Acetato de etilo (copolímero)	77	Muy volátil
110-19-0	Acetato de isobutilo	118	Volátil
108-65-6	Acetato de monometileter de propilenglicol	146	Volátil
67-64-1	Acetona	56	Muy volátil
123-86-4	Ácido acético	126	Volátil
78-83-1	Alcohol isobutílico	108	Volátil
67-63-0	Alcohol isopropílico	83	Muy volátil
67-56-1	Alcohol metílico	65	Muy volátil
71-36-3	Alcohol N-butílico	117	Volátil
110-43-0	Amil metil cetona	151	Volátil
136-60-7 ^a	Benzoato de butilo	249	Volátil
108-83-8	Disobutil cetona	168	Volátil
100-42-5	Estireno	145	Volátil
107-98-2	Eter monometílico de propilenglicol	120	Volátil
100-41-4	Etilbenceno	136	Volátil
84-74-2	Ftalato de dibutilo	340	Volátil
142-82-5	Heptano	98	Muy volátil
64742-95-6 ^b	Hidrocarburo aromático	149-182	Volátil
78-93-3	Metil-etil-cetona	80	Muy volátil
108-10-1	Metil-isobutil-cetona	118	Volátil
111-76-2	Monobutil glicol éter	171	Volátil
9004-70-0 ^c	Nitrocelulosa	35	Muy volátil
108-88-3	Tolueno	111	Volátil
1330-20-7 ^d	Xileno	137	Volátil

El número CAS se obtuvo de INSHT (2013) y PORVENIR (2013) a excepción de:

- a) SIGMA (2013)
- b) MEGALOID (2010)
- c) NJ HEALTH (2011)
- d) DIRSA (2006)

A partir del diagrama de emisiones (figura 5.3) y la tabla de contaminantes emitidos (tabla 5.5) fue posible elaborar una tabla que relaciona insumos y emisiones (tabla 5.6) y otra más en la que se asocia cada etapa de proceso con los contaminantes esperados (tabla 5.7).

Tabla 5.6 Relación de entradas y salidas en el proceso

Etapa del proceso	Entradas	Salidas
	Insumo	Emisión al aire
1		
2	X	X
3	X	X
4	X	X
5	X	
6	X	X

Tabla 5.7 Resumen de contaminantes en el repintado automotriz

Etapa del proceso		Salidas
		Emisión al aire
1	Nivel de daño	
2	Igualado de pintura	1,2,4-trimetil benceno, acetato de etilo (copolímero), acetato de monometileter de propilenglicol, acetona, ácido acético, alcohol isobutílico, alcohol isopropílico, alcohol metílico, alcohol N-butílico, amil metil cetona, disobitil cetona, etilbenceno, heptano, hidrocarburo aromático, metil-etil-cetona, metil-isobutil-cetona, tolueno y xileno
3	Preparación de superficie	Acetato de isobutilo, acetato de etilo, acetona (copolímero), acetato de monometileter de propilenglicol, acetona, ácido acético, alcohol isopropílico, alcohol metílico, alcohol N-butílico, amil metil cetona, benzoato de butilo, estireno, eter monometílico de propilenglicol, etilbenceno, ftalato de dibutilo, heptano, metil-etil-cetona, metil-isobutil-cetona, monobutil glicol éter, nitrocelulosa, tolueno y xileno
4	Pintado	1,2,4-trimetil benceno, acetato de etilo (copolímero), acetato de monometileter de propilenglicol, acetona, ácido acético, alcohol isobutílico, alcohol isopropílico, alcohol metílico, alcohol N-butílico, amil metil cetona , disobitil cetona, etilbenceno, heptano, hidrocarburo aromático, metil-etil-cetona, metil-isobutil-cetona tolueno y xileno
5	Abrillantado	
6	Lavado de equipo y herramientas	Alcohol isopropílico, alcohol metílico, alcohol N-butílico, etilbenceno, metil-etil-cetona, tolueno y xileno

Como se mencionó en el capítulo 3, parte de la metodología consiste en, una vez identificados los contaminantes, seleccionar aquellos cuya estimación sea relevante para los propósitos del estudio. Para esta selección se deben establecer los criterios de selección a emplear; para el caso de estudio en esta tesis, los criterios establecidos fueron:

- i). el contaminante es un COV
- ii). el contaminante está incluido en la lista de sustancias RETC
- iii). el contaminante está clasificado como de alto riesgo para la salud por la NPFA.

El primer criterio ya fue aplicado al elaborar la tabla 5.5. Posteriormente, se comparó la lista de contaminantes de esta tabla con los que se encuentran dentro de la lista del RETC (NOM-165, 2012). Y, finalmente, se utilizó la clasificación de riesgo en la salud propuesta por la NFPA¹⁴ (ver sección 3.2), para seleccionar los contaminantes que presentan un riesgo ≥ 2 y poseen toxicidad letal (ya que los operarios están en contacto directo y constante). La tabla 5.8 resume el resultado de los dos últimos criterios de selección.

¹⁴ National Fire Protection Agency, USA

Tabla 5.8 Criterios de selección de contaminantes

Compuesto químico	RETC	Riesgo a la salud	Efectos en la salud ¹
1,2,4-trimetil benzeno		0	
Acetato de etilo (copolímero)		1	
Acetato de isobutilo		1	
Acetato de monometileter de propilenglicol		0	
Acetona		1	
Ácido acético		1	
Alcohol isobutílico		1	
Alcohol isopropílico		1	
Alcohol metílico		1	
Alcohol N-butílico		1	
Amil metil cetona		1	
Benzoato de butilo		2	Provoca irritación del tracto respiratorio, piel y ojos, nocivo por ingestión,
Disobutil cetona		1	
Estireno	X	2	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náuseas, vómito, pérdida del conocimiento, susceptible de provocar cáncer
Eter monometílico de propilenglicol		0	
Etilbenceno		2	Irritación de piel y ojos, dolor de garganta, vértigo, dolor de cabeza, susceptible de provocar cáncer
Ftalato de dibutilo	X	0	Dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómito, irritación de ojos, efectos en la reproducción humana²
Heptano		1	
Hidrocarburo aromático		1	
Metil-etil-cetona		1	
Metil-isobutil-cetona		2	Irritación en piel y ojos, dolor de cabeza, náusea, pérdida del conocimiento, diarrea. Daño al riñón y al hígado.
Monobutil glicol éter		2	Dolor de cabeza, náuseas, debilidad, irritación de piel y ojos, diarrea, daño al riñón y al hígado.
Nitrocelulosa		2	Irritación de piel, nariz y ojos, puede afectar al sistema nervioso
Tolueno	X	2	Tos, dolor de garganta, vértigo somnolencia, dolor de cabeza, náuseas, pérdida del conocimiento, presenta efectos tóxicos.
Xileno	X	2	Dolor de cabeza, mareos, vértigo, náuseas, vómito, confusión, pérdida de conciencia, susceptible de provocar cáncer y afectar la reproducción

¹ Solamente se incluyen los efectos sobre la salud de aquellos contaminantes incluidos en la lista RETC o con riesgo a la salud ≥ 2

² A pesar de que el ftalato de dibutilo puede tener efectos en la reproducción humana se asigna un valor de riesgo para la salud igual a 0 dado su elevada dosis letal; $DL_{50oral}=8000$ [mg/Kg] en ratas (SIGMA, 2013).

De esta lista de 25 COV identificados en el proceso, ocho son considerados de riesgo ≥ 2 para la salud, pero de estos solo cuatro son susceptibles de provocar cáncer (etilbenceno, estireno, tolueno y xileno) y de estos, tres están en la lista

RETC (estireno, tolueno y xileno). Además de estos tres, el ftalato de dibutilo también es una sustancia RETC, sin embargo no será estimado aquí porque sólo se encuentra en la formulación de novoplaste; y el novoplaste no se cuantifica dentro de los productos de repintado (se incluye dentro de "otros").

Debido a las consideraciones anteriores, la lista de COV específicos que se estimaron en este trabajo se reduce a solo los siguientes cuatro (tabla 5.9):

Tabla 5.9 COV sujetos a estimación

No CAS	Compuesto químico
100-42-5	Estireno
100-41-4	Etilbenceno
108-88-3	Tolueno
1330-20-7	Xileno

5.3 Estimación de emisiones

De acuerdo con el paso tres de la metodología propuesta se analizó la información disponible y el tipo de proceso para determinar cuál de los métodos de estimación indirecta era el más adecuado para este caso (ver figura 3.8). Ya que las entradas (composición química de los productos empleados) y las salidas de cada etapa del proceso son conocidas, fue posible realizar un balance de materiales para el cálculo de emisiones. Sin embargo, ya que no se conoce la cantidad exacta de producto empleada en cada taller se realizaron las siguientes suposiciones:

- i). El volumen de ventas nacionales anuales se consume en ese año.
- ii). El volumen de ventas nacionales representan el total de producto consumido en todos los talleres de la República (ver tabla 5.4).
- iii). El 100% de los compuestos volátiles contenidos en los productos empleados se evaporan durante el proceso.
- iv). Todos los talleres en la República emplean productos con la misma formulación que los descritos en la sección 4.1 de esta tesis.

La información disponible en nuestro país sobre el repintado automotriz permitió realizar la estimación de emisiones de COV en dos niveles de aproximación:

- Cantidad total de COV emitidos por el proceso
- Cantidad de COV específicos asociados con el repintado automotriz.

Para cada uno de estos cálculos es necesario recordar que existen incertidumbres: para el primer caso porque el contenido de volátiles reportado por SEMARNAT corresponde a un valor promedio de diferentes productos; mientras que en el segundo porque se presupone que la formulación de los productos empleados en todos los talleres es la misma.

5.3.1 Estimación global de COV

Bajo las consideraciones anteriores se obtuvo la emisión anual por tipo de producto a nivel nacional; empleando la siguiente ecuación a partir de los valores de las tablas 5.4 (ventas nacionales) y 4.16 (contenido promedio de COV):

$$E_i = \left(\frac{V_i * C_i}{1000} \right) \quad i = 1, \dots, 7 \quad (5.1)$$

donde:

E_i = Emisión anual de COV para el tipo de producto i [Ton/año]

V_i = Ventas anuales para el tipo de producto i [m³/año]

C_i = Contenido de COV del producto i [Kg/L]

Como ejemplo de cálculo se presenta la estimación del rellenedor, para el cual se tienen ventas de 5,003.70 [m³/año], con un contenido promedio de COV igual a 0.70 [Kg/L].

$$\begin{aligned} E_{rellenador} &= \left(5,003.70 \left[\frac{m^3}{año} \right] \right) * \left(0.70 \left[\frac{Kg}{L} \right] \right) * \left(\frac{1000 [L]}{1 [m^3]} \right) * \left(\frac{1 [Ton]}{1000 [Kg]} \right) \\ &= 3,496.34 \left[\frac{Ton}{año} \right] \end{aligned}$$

De esta forma se obtuvo la emisión por producto y el total de volátiles emitidos durante el año de estimación, ET (ver ecuación 5.2 y tabla 5.12):

$$ET = \sum_{i=1}^n E_i \quad n = 1, \dots, 7 \quad (5.2)$$

Tabla 5.10 Emisiones nacionales de COV por tipo de producto de repintado automotriz México (2011)

Producto	Emisiones COV [Ton/año]
Rellenador	3,496.34
Masilla	694.68
Primario	2,501.75
Pintura acabado bicapa	1,969.86
Pintura acabado monocapa	5,014.07
Transparente	1,209.97
Otros	5,593.96
Total	20,480.60

Una vez estimadas las emisiones a nivel nacional, se analizaron las posibilidades de realizar la estimación a un nivel geográfico más detallado; nivel estatal o municipal. Para esto se realizaron las siguientes suposiciones:

- i). La distribución de talleres no registrados en la República es la misma que la de talleres registrados (ver tabla 5.2)

- ii). Los vehículos accidentados se repararon en el Estado donde ocurrió el accidente y la proporción de daño (superficie del vehículo) se distribuye homogéneamente en todos los Estados
- iii). Los productos empleados en esta actividad se distribuyen linealmente entre todos los empleados de la misma.

A partir de estas consideraciones y los datos de la tabla 5.2, fue posible realizar la estimación a diferentes niveles geográficos, empleando las ecuaciones siguientes:

$$FD_e = \frac{T_e}{T} \quad (5.3)$$

$$EE_{e,i} = FD_e * E_i \quad (5.4)$$

$$EET_e = \sum_{i=1}^n EE_{e,i} \quad i = 1, \dots, 7 \quad (5.5)$$

donde:

FD_e = Factor de distribución del Estado e

T_e = Número de talleres, vehículos accidentados o empleados en el Estado e

T = Total de talleres, vehículos accidentados o empleados en México

$EE_{e,i}$ = Emisión de COV en el Estado e por uso del producto i [Ton/año]

EET_e = Emisión total de COV en el Estado e [Ton/año]

e = Número de entidad federativa $e=1, \dots, 32$

Como ejemplo se presenta el cálculo de emisiones para el estado de Aguascalientes por el consumo de rellenador:

a) de acuerdo con el número de talleres se tiene:

$$FD_{Aguascalientes} = \frac{347[\text{talleres}]}{29,838[\text{talleres}]} = 0.012$$

$$EE_{Aguascalientes, \text{rellenador}} = (0.012) * \left(3,496.34 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right] \right) = 40.66[\text{Ton}]$$

b) de acuerdo con el número de empleados se tiene:

$$FD_{Aguascalientes} = \frac{1,094[\text{empleados}]}{83,468[\text{empleados}]} = 0.013$$

$$EE_{Aguascalientes, \text{rellenador}} = (0.013) * \left(3,496.34 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right] \right) = 45.83[\text{Ton}]$$

c) de acuerdo con el número de accidentes se tiene:

$$FD_{Aguascalientes} = \frac{5,313[\text{accidentes}]}{387,185[\text{accidentes}]} = 0.014$$

$$EE_{Aguascalientes, \text{rellenador}} = (0.014) * \left(3,496.34 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right] \right) = 47.98 [\text{Ton}]$$

Este cálculo se repite para cada producto y cada Estado y los resultados se presentan en el anexo 1 y a nivel estatal, en las figuras siguientes (5.4, 5.5 y 5.6, para talleres, vehículos accidentados y empleados, respectivamente).

Figura 5.4 Distribución estatal de emisiones de COV (2013), a partir de la distribución de talleres registrados en la República

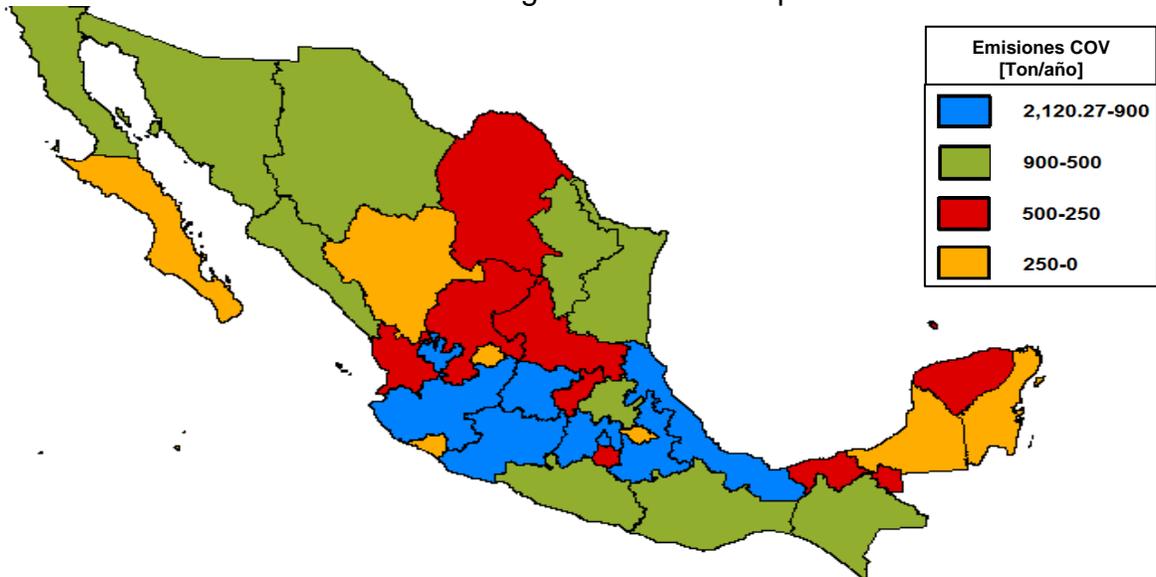


Figura 5.5 Distribución estatal de emisiones de COV (2011), a partir del número de empleados

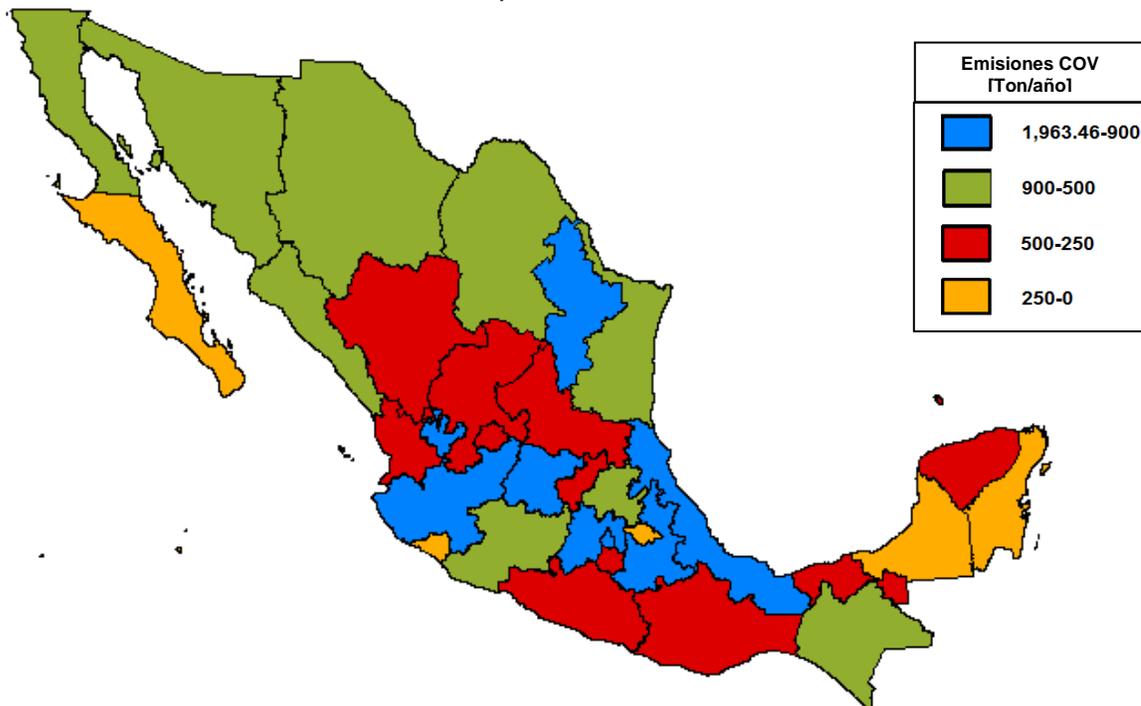
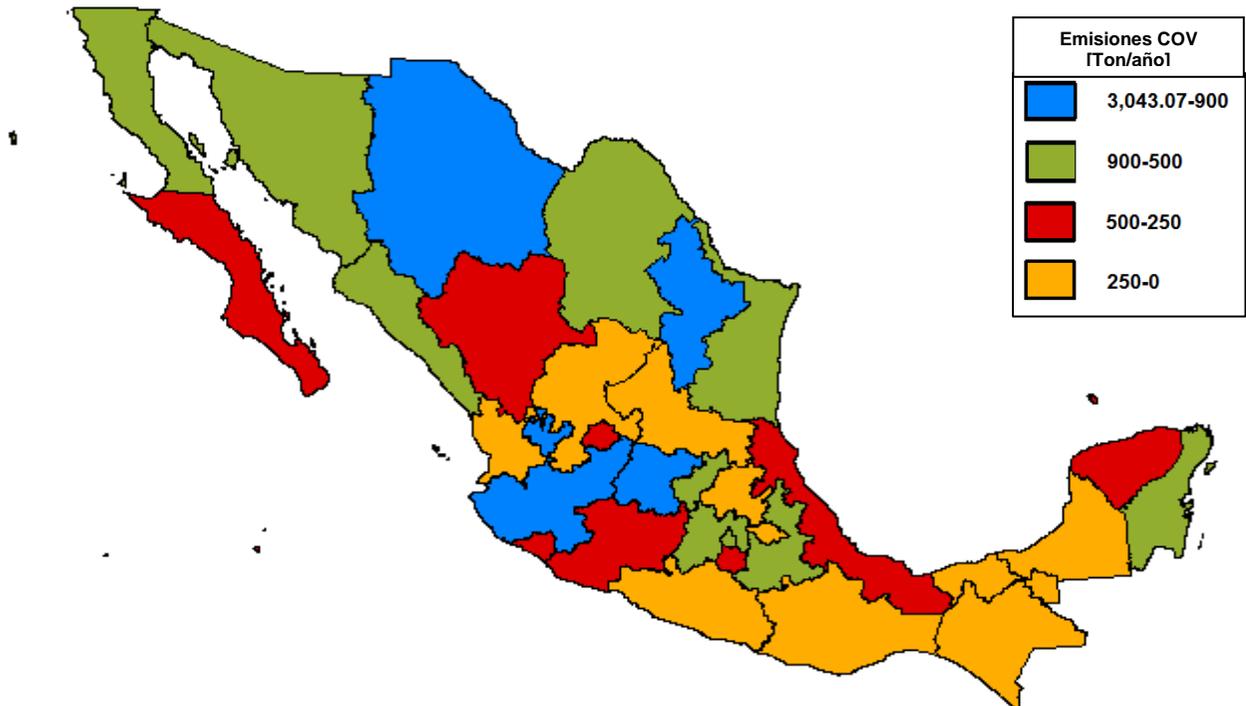


Figura 5.6 Distribución estatal de emisiones de COV (2011), a partir del número de accidentes terrestres



En los mapas anteriores se puede observar que en la parte central del país se encuentran los estados con mayor emisión de COV, siendo Jalisco y Guanajuato las entidades presentes en los tres mapas; sin embargo, únicamente las distribuciones por número de talleres y empleados mantienen una relación, teniendo siete estados en común con una emisión de COV mayor a 900 [Ton/año].

Con el análisis de estas distribuciones se determinó que resulta conveniente utilizar el número de empleados para la distribución estatal de emisiones, tanto para la estimación general de COV y la de especies, considerando que el número reportado de trabajadores establece un vínculo directo con aquellos que no tienen un control por parte de las autoridades; al existir una gran cantidad de trabajadores en una determinada zona, se considera que en ese lugar el repintado automotriz tiene una participación económica importante, lo que representa un mercado atractivo para personas con los conocimientos básicos en reparación de vehículos.

Una vez seleccionado el número de empleados como factor de distribución, se realizó el cálculo de los COV seleccionados con la metodología propuesta.

5.3.2 Estimación de COV específicos

Para la estimación de los cuatro COV seleccionados como especies de interés, para este trabajo, se empleó la información de la tabla 5.4 (Ventas nacionales de

productos para repintado automotriz para el 2011) y los datos de gravedad específica proporcionados por el fabricante (ver tabla 5.11).

Tabla 5.11 Ventas nacionales de productos [Ton/año] para repintado automotriz (2011)

Producto	Densidad ¹ [Kg/L]	Ventas anuales [Ton/año]
Rellenador	1.17	5854.33
Masilla	1.63	2067.42
Primario	1.41	6113.46
Pintura acabado bicapa	1.13	4184.09
Transparente	0.93	1954.44
Otros	0.85 ²	6435.15
Total		26,608.90

1 Para este cálculo se empleó como referencia la densidad del agua a una presión de 101,325 [Pa] y una temperatura de 20 [°C]

2 Para "Otros" se empleó la gravedad específica del thinner, por considerarse que es el producto más abundante dentro de este grupo (ver tabla 4.1)

Por otra parte, a partir de los datos de la sección 4.3 (Descripción del proceso), se elaboró la siguiente tabla (5.12) en la que se resume el porcentaje contenido en cada producto para los COV de interés; pero, se debe hacer notar que no es posible estimar correctamente la cantidad de COV emitida por el uso de "Otros" productos (thinner, novoplaste, reductor, catalizador, etc.) por lo que se decidió, por su importancia en ventas y alto contenido de COV, asumir al thinner como representante de estos productos.

Tabla 5.12 Porcentaje de concentración por tipo de COV en el producto

No CAS	Compuesto químico	Porcentaje de concentración [%]					
		Rellenador	Masilla	Primario	Pintura acabado bicapa	Transparente	Otros ¹
100-42-5	Estireno	15					
100-41-4	Etilbenceno				3	7	1
108-88-3	Tolueno				12	20	26
1330-20-7	Xileno	8	9	4	11	29	5

1 El contenido de los COV de interés dentro de "Otros" se consideró igual a la del thinner con mayor concentración.

A partir de los datos anteriores se plantean las ecuaciones siguientes:

$$E_{c,i} = (C_{c,i} * m_i) \quad i = 1, \dots, 5 \quad (5.6)$$

donde:

$E_{c,i}$ = Emisión anual del COV_c para el tipo de producto i [Ton/año]

m_i = masa anual vendida del producto i [T/año]

$C_{c,i}$ = Contenido del COV_c en el producto i [%]

c = estireno, etilbenceno, tolueno, xileno

Como ejemplo se presenta el cálculo de las emisiones de xileno en el transparente (a nivel nacional) que es el producto en el que tiene mayor concentración.

$$E_{xileno,transparente} = (0.29) * \left(1954.44 \left[\frac{Ton}{año} \right] \right) = 566.78 \left[\frac{Ton}{año} \right]$$

Y, para calcular las emisiones de cada COV específico a nivel nacional se empleó la ecuación 5.2 y para el cálculo a nivel estatal, las ecuaciones 5.3, 5.4 5.5 con el factor de distribución por empleados. Los resultados de estos cálculos se presentan en el anexo 2 en forma tabular, ya que los mapas de distribución son iguales a los discutidos anteriormente para el caso de COV globales.

5.4 Administración de la información

La información recopilada y la que se generó durante la estimación de emisiones fue administrada por medio de una base de datos (Excel), agrupando la información en tres secciones: Información disponible, estimación de COV globales a nivel estatal y estimación de COV específicos a nivel estatal.

- Información disponible: Incluye la estimación a nivel nacional de COV globales y COV específicos, además de información como: ventas nacionales (año 2008 y 2011) y el porcentaje vendido para productos de repintado automotriz, el contenido promedio de COV y la concentración de los COV específicos en cada uno de los productos.

Figura 5.7 Sección de información disponible

Año 2008				
Producto	Porcentaje [%]	Ventas nacionales [L]		
Rellenador	15.00	4,552,609.22		
Resanador	3.80	1,154,009.71		
Primario	13.00	3,944,912.62		
Laca acrílica	11.10	3,368,930.83		
Esmalte acrílico	28.10	8,527,190.53		
Poliuretanos	6.30	1,912,095.87		
Otros	22.70	6,888,251.21		
Total	100.00	30,348,000.0		

Año 2011					2011						
Estimación global de COV					Estimación específica de COV						
Producto	Contenido promedio de COVS [Kg/L] INEM 2008	Ventas nacionales [L/año]	Ventas nacionales [m3/año]	Emisiones COVs [Ton/año]	Producto	Densidad	Ventas nacionales [Ton/año]	Contaminante			
								Estireno	Etilbenceno	Tolueno	Xileno
Rellenador	0.70	5,003,699.77	5,003.70	3,496.34	Rellenador	1.17	5854.328729	15	878.149309		
Masilla	0.55	1,268,353.56	1,268.35	694.68	Masilla	1.63	2067.416306				8
Primario	0.58	4,335,790.18	4,335.79	2,501.75	Primario	1.41	6113.464158				4
Pintura acabado bicapa	0.53	3,702,737.84	3,702.74	1,969.86	Pintura acabado bicapa	1.13	4184.093756	3	125.52281	12	502.0912507
Pintura acabado monocapa	0.54	9,372,098.33	9,372.10	5,014.07	Transparente	0.93	1954.445127	7	136.81116	20	390.8890254
Transparente	0.58	2,101,553.90	2,101.55	1,209.97	Otros (Thinner)	0.85	6435.151453	1	64.351515	26	1673.139378
Otros	0.74	7,570,766.42	7,570.77	5,593.96	Total		26,608.90		878.15		326.69
Total		33,955,000.0		20,480.62							2,566.12
											2,247.75

- Estimación de COV globales a nivel estatal: Esta sección de la base de datos incluye tres hojas de cálculo: distribución estatal por número de talleres, empleados y accidentes terrestres correspondientemente. En la figura 5.8 se muestra el ejemplo de la distribución estatal de emisiones de COV globales tomando como factor de distribución el número de talleres.

Figura 5.8 Sección estimación de COV globales a nivel estatal (talleres)

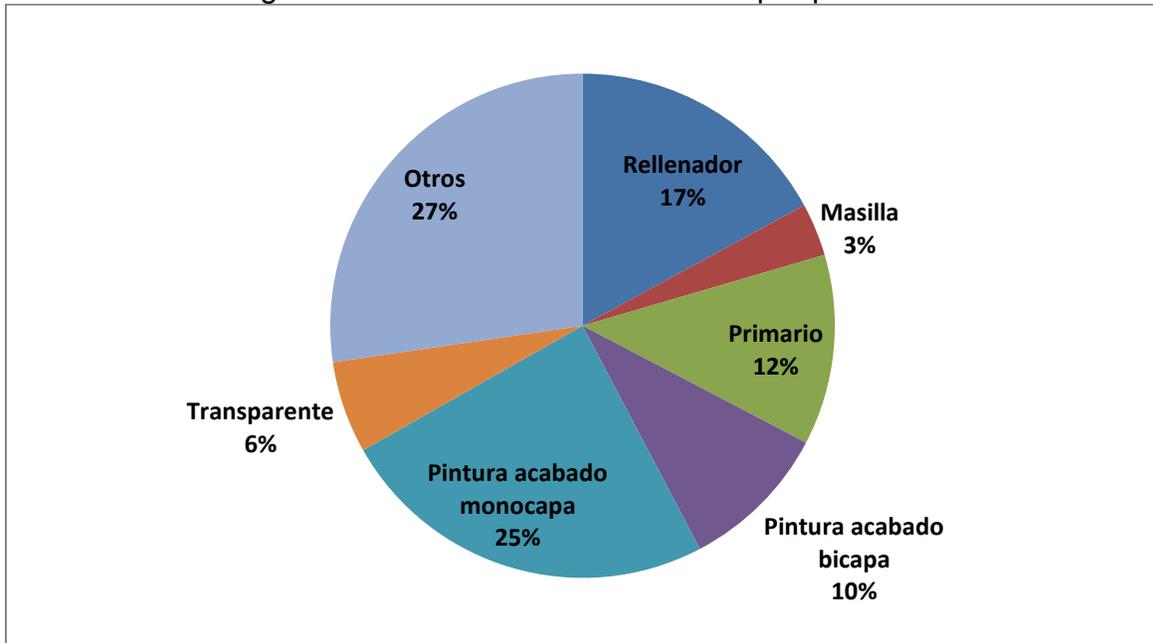
Entidad federativa	Talleres	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura acabado bicapa	Pintura acabado monocapa	Transparente	Otros	Emisión estatal COV [Ton/año]
Aguascalientes	347	0.012	40.66	8.08	29.09	22.91	58.31	14.07	65.05	238.18
Baja California	960	0.032	112.49	22.35	80.49	63.38	161.32	38.93	179.98	658.94
Baja California Sur	229	0.008	26.83	5.33	19.20	15.12	38.48	9.29	42.93	157.18
Campeche	267	0.009	31.29	6.22	22.39	17.63	44.87	10.83	50.06	183.27
Coahuila de Zaragoza	685	0.023	80.27	15.95	57.43	45.22	115.11	27.78	128.42	470.18
Colima	257	0.009	30.11	5.98	21.55	16.97	43.19	10.42	48.18	176.40
Chiapas	1031	0.035	120.81	24.00	86.44	68.06	173.25	41.81	193.29	707.67
Chihuahua	1040	0.035	121.86	24.21	87.20	68.66	174.76	42.17	194.98	713.85
Distrito Federal	2038	0.068	238.81	47.45	170.88	134.55	342.47	82.64	382.08	1,398.87
Durango	351	0.012	41.13	8.17	29.43	23.17	58.98	14.23	65.80	240.92
Guanajuato	1353	0.045	158.54	31.50	113.44	89.32	227.36	54.87	253.66	928.69
Guerrero	787	0.026	92.22	18.32	65.99	51.96	132.25	31.91	147.54	540.19
Hidalgo	736	0.025	86.24	17.14	61.71	48.59	123.68	29.85	137.98	505.19
Jalisco	2112	0.071	247.48	49.17	177.08	139.43	354.91	85.64	395.95	1,449.66
México	3089	0.104	361.96	71.92	259.00	203.93	519.09	125.26	579.12	2,120.27
Michoacán de Ocampo	1439	0.048	168.62	33.50	120.65	95.00	241.81	58.35	269.78	987.72
Morelos	515	0.017	60.35	11.99	43.18	34.00	86.54	20.88	96.55	353.49
Nayarit	419	0.014	49.10	9.76	35.13	27.66	70.41	16.99	78.55	287.60
Nuevo León	1012	0.034	118.58	23.56	84.85	66.81	170.06	41.04	189.73	694.63
Oaxaca	873	0.029	102.30	20.32	73.20	57.63	146.70	35.40	163.67	599.22
Puebla	1601	0.054	187.60	37.27	134.23	105.70	269.04	64.92	300.15	1,098.92
Querétaro	392	0.013	45.93	9.13	32.87	25.88	65.87	15.90	73.49	269.07
Quintana Roo	336	0.011	39.37	7.82	28.17	22.18	56.46	13.63	62.99	230.63
San Luis Potosí	642	0.022	75.23	14.95	53.83	42.38	107.88	26.03	120.36	440.66

En cada hoja se incluye una columna de los datos utilizados para obtener el factor de distribución según sea el caso, talleres, empleados o accidentes.

Al analizar la información obtenida y recordando que se tomó como factor de distribución el número de empleados, se determinó que la entidad federativa con mayor emisión de COV es el Estado de México con 1,963.46 [Ton/año], lo cual es de esperarse ya que es el estado con mayor número de empleados.

En las emisiones por tipo de producto se sabe que el volumen de ventas y el contenido promedio de COV son datos críticos en la cantidad de COV emitidos; la pintura de acabado monocapa tiene un contenido promedio de COV de 0.54 [Kg/L] (el segundo más bajo de los productos), sin embargo, tiene el mayor volumen de ventas, lo que lo convierte en el mayor contribuyente de emisiones de COV con 5,014.07 [Ton/año]. El porcentaje de emisión por tipo de producto se presenta en la figura 5.9

Figura 5.9 Distribución de emisiones por producto



Se debe recordar que en la categoría de Otros las emisiones se distribuyen entre un número desconocido de productos adicionales, lo cual incrementa el valor de la emisión.

•Estimación de COV específicos: Se conforma por cuatro hojas de cálculo, estireno, etilbenceno, tolueno y xileno, en cada una de ellas se encuentra la distribución de emisiones a nivel estatal del COV de interés, tomando como factor de distribución el número de empleados.

Figura 5.10 Sección estimación de COV específicos a nivel estatal (xileno)

Entidad federativa	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura acabado bicapa	Transparente	Otros	Emisión estatal COV
Aguascalientes	0.01	6.14	2.44	3.21	6.03	7.43	4.22	29.46
Baja California	0.03	16.16	6.42	8.44	15.88	19.56	11.10	77.56
Baja California Sur	0.01	3.19	1.27	1.66	3.13	3.86	2.19	15.30
Campeche	0.01	3.42	1.36	1.78	3.36	4.14	2.35	16.40
Coahuila de Zaragoza	0.03	13.21	5.25	6.90	12.99	15.99	9.08	63.42
Colima	0.01	4.19	1.66	2.19	4.11	5.07	2.88	20.09
Chiapas	0.03	13.47	5.35	7.03	13.23	16.30	9.25	64.63
Chihuahua	0.03	15.71	6.24	8.20	15.44	19.01	10.79	75.40
Distrito Federal	0.09	42.11	16.73	21.98	41.38	50.96	28.93	202.08
Durango	0.01	5.89	2.34	3.07	5.78	7.12	4.04	28.25
Guanajuato	0.05	21.27	8.45	11.11	20.90	25.74	14.61	102.09
Guerrero	0.02	10.52	4.18	5.49	10.34	12.73	7.23	50.49
Hidalgo	0.03	12.47	4.95	6.51	12.25	15.09	8.57	59.84
Jalisco	0.09	40.24	15.99	21.01	39.55	48.70	27.65	193.14
México	0.10	44.90	17.84	23.44	44.12	54.34	30.85	215.49
Michoacán de Ocampo	0.04	20.34	8.08	10.62	19.99	24.62	13.97	97.62
Morelos	0.02	7.42	2.95	3.87	7.29	8.98	5.10	35.60
Nayarit	0.01	5.94	2.36	3.10	5.83	7.18	4.08	28.49
Nuevo León	0.05	22.45	8.92	11.72	22.06	27.17	15.42	107.74
Oaxaca	0.02	10.75	4.27	5.61	10.56	13.00	7.38	51.57

De nueva cuenta la entidad federativa que presenta la mayor cantidad de emisiones, en este caso de estireno, etilbenceno, tolueno y xileno, es el Estado de México, esto debido a que se mantiene el factor de distribución por empleados. De los COV calculados el tolueno es el que se emite en mayor cantidad con 2,566.12 [Ton/año], ya que tiene la mayor concentración en la categoría de otros, la cual posee el mayor volumen de ventas.

La categoría de otros, de la cual se tomó como referencia al thinner, presenta una emisión 1,673.14 [Ton/año] de tolueno, lo cual remarca la importancia de reportar las ventas de cada producto perteneciente a la categoría de otros. En la tabla 5.13 se presenta las emisiones totales de los COV estimados en este trabajo.

Tabla 5.13 Emisiones [Ton/año] por tipo de COV

No CAS	Compuesto químico	Emisión Nacional
100-42-5	Estireno	878.15
100-41-4	Etilbenceno	326.69
108-88-3	Tolueno	2566.12
1330-20-7	Xileno	2,247.75

Para poder remarcar la importancia del repintado automotriz se analizó el reporte de INEM 2005 el cual presenta la emisión de COV por distintas fuentes de área tal y como se muestra en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Emisión de COV por fuentes de área [Ton/año] (2005)

Categoría	COV
Combustión doméstica	453,868.87
Uso comercial y doméstico de solventes	323,794.18
Manejo y distribución de gas LP	282,813.76
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	213,899.96
Limpieza de superficies industriales	166,633.44
Aguas residuales	97,056.15
Recubrimiento de superficies en la industria	59,975.78
Manejo y distribución de gasolina y diesel	58,530.57
Artes gráficas	42,673.70
Incendios forestales	24,151.75
Pintado automotriz	19,675.98
Lavado en seco	18,783.88
Aplicación de plaguicidas	18,415.49
Maquinaria agrícola	16,495.56
Asfaltado	10,744.83
Panificación	5,737.39
Pintura para señalización vial	2,924.85
Quemas agrícolas	2,197.09
Aviación	2,148.78
Locomotoras de arrastre	1,710.46
Equipo de construcción	1,236.43
Asados al carbón	1,060.28
Combustión industrial	1,027.67
Cruces fronterizos	759.98
Aeropuertos y equipo en aeropuertos	401.31
Terminales de autobuses	353.95
Locomotoras de patio	246.98
Embarcaciones marítimas comerciales	164.13
Combustión comercial	134.41
Esterilización de material hospitalario	44.47
Incendios en construcciones	14.3
Combustión agrícola	3.72

Fuente: SEMARNAT (2013b)

Como se puede notar, el repintado automotriz juega un papel importante en la gestión ambiental debido a la cantidad de COV emitidos, a pesar de no ser la mayor fuente emisora, comparando la estimación de COV obtenida en este trabajo (20,480.62 [Ton/año]) con el valor del INEM 2005 se ve reflejada una tendencia en el incremento de emisiones; esto señala la importancia que tiene el análisis a detalle de la información disponible para la realización de los cálculos, ya que debido a que la estimación se realizó por un método indirecto, el resultado depende totalmente de los datos disponibles.

Un área de oportunidad es el poder contar con el volumen de ventas por estado para cada producto utilizado en el proceso, ya que se dejaría de realizar suposiciones en la distribución de emisiones a nivel estatal, lo mismo sucede con las ventas para los productos que se incluyen dentro de la categoría de otros.

6 Conclusiones y recomendaciones

En este último capítulo de la tesis se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del objetivo planteado y el caso de estudio realizado.

- Los registros de emisiones y transferencia de contaminantes (PRTR) han tenido un crecimiento en su implementación y una buena aceptación internacional como instrumentos de gestión ambiental.
- Los objetivos de los PRTR incluyen: conocer la situación actual del ambiente para ayudar a la generación de políticas ambientales, y cumplir con compromisos internacionales. Para esto consideran: tipos de fuente, contaminantes, métodos para recopilar, medir y estimar emisiones y manejo de información, entre otros.
- Los PRTR además de las fuentes de puntuales deben incluir de área.
- El RETC mexicano ha tenido avances significativos en cuanto a la captura y centralización de la información; al pasar de un reporte voluntario a uno obligatorio, se comienza a tener una mayor coordinación entre gobierno y el sector industrial.
- El INEM ha contribuido en la generación y centralización de información acerca de emisiones de fuentes de área y puntuales. Esto se ha logrado gracias a la implementación de controles de calidad en la captura, almacenamiento y distribución de la información.
- Mediante los métodos indirectos de estimación de emisiones, es posible obtener un resultado confiable, siempre y cuando se cuente con la información que cada método requiere.
- La metodología propuesta proporciona una guía general para el cálculo de emisiones de fuentes de área; al seguir cada uno de los pasos se logra entender el proceso de la fuente, identificar cada uno de sus elementos y seleccionar así el mejor método de estimación.
- Los criterios de selección, contaminantes sujetos a estimación y alcances de la investigación dependen totalmente del objetivo de la misma.
- Una de las fuentes analizadas en el INEM es el repintado automotriz, por ser una actividad común en el país, debido a la constante reparación y mantenimiento a vehículos automotores, y porque conlleva el uso de productos con alto contenido de COV.

- Durante la descripción teórica del proceso se encontraron diversos inconvenientes (la información disponible fue insuficiente), por lo que se realizaron visitas a instalaciones y preguntas a los operarios que resultaron ser de gran utilidad. Por lo que recomienda siempre visitar el proceso cuyas emisiones se evalúan.
- Dentro de las cuatro etapas de proceso con emisión de contaminantes, la de pintado es la de mayor riesgo para la salud.
- Se debe aplicar un método indirecto de estimación para las emisiones del repintado automotriz, ya que se trata de una fuente de área y la medición directa en cada establecimiento sería difícil o imposible de realizar.
- Debido a las características del proceso, información disponible y el tipo de contaminantes, se utilizó el balance de materiales como un método indirecto de estimación de emisiones por repintado automotriz; ya que se cuenta con la información requerida por el método.
- La estimación de COV para el caso de estudio se realizó a nivel nacional y estatal; esta última a partir del nivel de ocupación que esta actividad reporta en cada estado. Los Estados con mayores emisiones fueron el Estado de México, Distrito Federal y Jalisco; considerando como factor de distribución el número de empleados por entidad federativa.
- En cuanto a las especies de COV se calculó la emisión de xileno, tolueno, estireno y etilbenceno ya que no se obtuvo la información necesaria para la estimación del ftalato de dibutilo
- Como último punto, se puede señalar que el objetivo planteado al inicio de la tesis se logró, ya que fue posible establecer una metodología para la estimación de emisiones de fuentes de área a través de métodos indirectos de estimación.

Y, a partir de estas conclusiones se recomienda:

- Debido a que la información requerida para la estimación de emisiones en el INEM depende de fuentes externas a la Secretaría (SEMARNAT), es importante establecer y mantener una coordinación entre todas las partes, para que se genere y proporcione la información necesaria, además de que se reduzca el desfase temporal que se tiene en las actualizaciones de los inventarios.
- Aun cuando la información acerca de una fuente sea suficiente, se recomienda realizar una visita de campo para el mejor entendimiento del proceso, además de que las entrevistas a operadores son una muy valiosa fuente de información.

- Realizar una priorización sobre fuentes de área cuyas emisiones deben estimarse es importante, ya que se debe prestar atención a aquellas fuentes que representan un mayor riesgo para el ambiente y la salud.
- Los resultados obtenidos en el caso práctico deberán seguirse mejorado, obteniendo información precisa sobre el volumen de ventas de productos para repintado automotriz, empleados, talleres de repintado y actualizando la información año con año.
- Una buena coordinación entre la UNAM y dependencias gubernamentales ayudará a la mejora continua en materia de gestión ambiental; la creación de grupos interdisciplinarios, incluida la ingeniería industrial, contribuirá en la obtención de mejores resultados en futuras investigaciones.
- Como último punto, al existir una gran variedad de fuentes de área, procesos y contaminantes se recomienda aplicar la metodología propuesta a otras fuentes para así lograr completar los inventarios de emisiones de nuestro país.

Bibliografía:

ANAFAPyT, 2011, "Pinturas de propósito especial" en *Reporte Anual del Mercado de Pinturas en México 2011*, Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas, México.

Barra R., 2007, *Criterios para seleccionar sustancias tóxicas persistentes para la construcción de la Base de Datos sobre Sustancias Tóxicas Persistentes y Metales Pesados*; disponible en <http://www.oas.org/dsd/Quimicos/Inventory/CriteriosSTP.pdf>

Burch J. G. y Grudnitski G., 1992, *Sistemas de información. Teoría y práctica*, Limusa, México.

BVSDE, 1997, "Contaminantes orgánicos volátiles" en *Contaminantes orgánicos*, Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental; disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a18.pdf>

Capacita, 2005, *Mantenimiento y repintado automotriz, una guía para mejorar su empresa*, Dirección general de capacitación, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México; disponible en <http://observatoriodelacapacitacion.stps.gob.mx/oc/capacitacion/3-MRA.pdf>

CCA, 2006, *En balance. Emisiones y transferencias de contaminantes de América del Norte*, Comisión de Cooperación Ambiental; disponible en http://www.cec.org/Page.asp?PageID=1115&AA_SiteLanguageID=3

CESVI, 2011, "Menos del 45% del parque vehicular mexicano está asegurado" en *Comunicados de prensa*, Centro de Experimentación y Seguridad Vial; disponible en <http://www.cesvimexico.com.mx/Prensa.php>

CESVI, 2012, "En México hay 27,000 talleres automotrices de hojalatería y pintura llamados banqueteros" en *Comunicados de prensa*, Centro de Experimentación y Seguridad Vial; disponible en <http://www.cesvimexico.com.mx/Prensa.php>

CESVI, 2013, "Introducción al proceso de pintado de vehículos", Centro de Experimentación y Seguridad Vial; disponible en <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/CFPreparacionSuperficiesEXTRACTO.pdf>

Chapista, 2013, "Niveles de daño" en *Pintura*; disponible en http://www.elchapista.com/diferentes_niveles_de_pintado.html

CCSSO, 2013, "Qué es un LD50 y LC50", Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional, Canadá; disponible <http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>

DENUE, 2013, *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México; disponible en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denu/default.aspx>

DIRSA, 2006, *Hoja de datos de seguridad de xileno, CAS 1330-20-7*, Disolventes Reunidas S.A.; disponible en <http://www.dirsadisolventes.com/pdf/FDS%20XILENO.pdf>

DUPONT, 2013, "Hojas técnicas y de seguridad" en *Repintado automotriz*; disponible en http://www2.dupont.com/DPC_Refinish/es_MX/productos_pintura_automotriz/ht_msds/index.html#tabs

EPA, 2013a, *Factores de emisión*, Environmental Protection Agency, USA; disponible en <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>

EPA, 2013b, *Compuestos orgánicos volátiles*, Environmental Protection Agency, USA; disponible en <http://www.epa.gov/iaq/voc2.html>

Henry J. G. y Heinke G. W., 1999, *Ingeniería Ambiental*, Pearson, Edo. de México.

INE, 2006, *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*, Instituto Nacional de Ecología, México; disponible en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/615/inventario.pdf>

INEGI, 2013, "Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas" en *Registros administrativos*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática; disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=14744&c=23705&s=est&cl=4#>

INEM, 2005, *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

INEM, 2008, *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

INSHT, 2013, "fichas FISQ" en *Documentación*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, España; disponible en <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=4458908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&ce=&rtecs=&nu=&einecs=&y=14&cas=7778-18-9&x=17&icsc=&text=>

Jiménez J. E., 2006, *Análisis de la problemática de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en una planta de refino*; disponible en <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20066/fichero/Documento+completo%252FAnexo+I.pdf>

Kiely G., 1999, *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, Mc Graw Hill, Madrid

LGEEPA, 1988, *Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente*, Cámara de diputados del H. Congreso de la unión, México; disponible en http://www.cibiogem.gob.mx/Norm_leyes/Documents/normatividad-SAGARPA/LGEEPA.pdf

NJ HEALTH, 2011, *Hoja de seguridad de nitrocelulosa, CAS 9004-70-0*, New Jersey Department of Health; disponible en <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1366sp.pdf>.

NOM-165, 2012, *Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2012, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, México; disponible en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5281372&fecha=05/12/2012

MEGALOID 2010, *Hoja de datos de seguridad de hidrocarburo aromático, CAS 64742-95-6*, Megaloid laboratories; disponible en <http://megaloid.ca/MSDS/Aromatic%20100.pdf>

PECC, 2014, *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*, Secretaría del Medio Ambiente, México; disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/apoyos-y-subsidios/programas-y-subsidios-informacion-2012/programas-cargo-de-la-semarnat-2006-2012-0>

PORVENIR, 2013, *Fichas de seguridad química*, Grupo Porvenir Consulting, España; disponible en <http://www.grupoprevenir.es/fichas-seguridad-sustancias-quimicas/0987.htm>

Quiroz., 2013, Entrevista realizada a Francisco Quiroz Rosas dueño y operario de taller de repintado automotriz.

Ross R.D., 1974, *La industria y la contaminación del aire*, Diana, Ciudad de México.

Sánchez G., Vega E. y Reyes E., 2004, "Compuestos Orgánicos Volátiles" en *Ciencia y Desarrollo en Internet*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México; disponible en <http://www.conacyt.gob.mx/comunicacion/Revista/Articulos/Completos/pdf/COV.pdf>

SMA, 2010, *Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2010*, Secretaría del Medio Ambiente, México; disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/informes/informe2010/descargas/informe2010.pdf>

SEMARNAP, 1997, *Registro de Emisiones y transferencia de contaminantes. Propuesta Ejecutiva Nacional*, Enkidu editores, Ciudad de México.

SEMARNAT, 2007a, "Contaminación y calidad del aire" en *¿Y el medio ambiente?, Problemas en México y el mundo*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos

Naturales, México; disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/yelmedio.html>

SEMARNAT, 2007b, “Cambio climático y ozono” en *¿Y el medio ambiente?, Problemas en México y el mundo*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México; disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/yelmedio.html>

SEMARNAT, 2008, “Atmósfera” en *Informe de la situación del medio ambiente en México*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México; disponible en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/00_intros/pdf.html

SEMARNAT, 2010, *Guía para la elaboración de la cédula de operación anual. Industria de pinturas y tintas*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT, 2012, *Programa de inventarios de emisiones para México. Manuales y programas*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT, 2013a, *Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional Información Ambiental Recursos Naturales (BandeSNIAR)*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México; disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/badesniarn/Pages/badesniarn.aspx>

SEMARNAT, 2013b, *Sub-Sistema del Inventario Nacional de Emisiones a la atmósfera de México (SINEA)*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México; disponible en <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php>

SIGMA, 2013, *Base de datos para la búsqueda de hojas de seguridad*, Sigma-Aldrich, México; disponible en <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?interface=CAS%20No.&term=9004-36-8&lang=es®ion=MX&focus=product&N=220003048+219853196+219853286&mode=partialmax>

SURATEP, 2000, *Gerencia de prevención de riesgos*, Administradora de riesgos profesionales, Colombia; disponible en http://copaso.upbbga.edu.co/juegos/manejo_sust_quimicas.pdf

SURATEP, 2008, *Sistema de identificación de riesgos HMIS III*, Administradora de riesgos profesionales, Colombia; disponible en <http://es.scribd.com/doc/184171781/hmis-iii-1>

UNITAR, 1997, *Implementación del proyecto para el diseño de un RETC nacional: Documento guía*, United Nations Institute for Training and Research; disponible en <http://www2.unitar.org/cwm/publications/cbl/synergy/pdf/cat2/prtr/prtrgdsp.PDF>

UNITAR, 1998, *Orientación para empresas sobre la estimación y presentación de datos del RETC*, United Nations Institute for Training and Research; disponible en http://www2.unitar.org/cwm/publications/cw/prtr/prtr_sp/prtr_tech_support_2_ifcs4_SP.pdf

Anexos

Anexo 1 Emisión estatal de COV

Anexo 1.1 Emisión de COV por talleres automotrices [Ton/año]

Entidad federativa	Talleres	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura bicapa	Pintura monocapa	Transparente	Otros	Emisión estatal
Aguascalientes	347	0.01	40.66	8.08	29.09	22.91	58.31	14.07	65.05	238.18
Baja California	960	0.03	112.49	22.35	80.49	63.38	161.32	38.93	179.98	658.94
Baja California Sur	229	0.01	26.83	5.33	19.20	15.12	38.48	9.29	42.93	157.18
Campeche	267	0.01	31.29	6.22	22.39	17.63	44.87	10.83	50.06	183.27
Coahuila de Zaragoza	685	0.02	80.27	15.95	57.43	45.22	115.11	27.78	128.42	470.18
Colima	257	0.01	30.11	5.98	21.55	16.97	43.19	10.42	48.18	176.40
Chiapas	1031	0.03	120.81	24.00	86.44	68.06	173.25	41.81	193.29	707.67
Chihuahua	1040	0.03	121.86	24.21	87.20	68.66	174.76	42.17	194.98	713.85
Distrito Federal	2038	0.07	238.81	47.45	170.88	134.55	342.47	82.64	382.08	1,398.87
Durango	351	0.01	41.13	8.17	29.43	23.17	58.98	14.23	65.80	240.92
Guanajuato	1353	0.05	158.54	31.50	113.44	89.32	227.36	54.87	253.66	928.69
Guerrero	787	0.03	92.22	18.32	65.99	51.96	132.25	31.91	147.54	540.19
Hidalgo	736	0.02	86.24	17.14	61.71	48.59	123.68	29.85	137.98	505.19
Jalisco	2112	0.07	247.48	49.17	177.08	139.43	354.91	85.64	395.95	1,449.66
México	3089	0.10	361.96	71.92	259.00	203.93	519.09	125.26	579.12	2,120.27
Michoacán de Ocampo	1439	0.05	168.62	33.50	120.65	95.00	241.81	58.35	269.78	987.72
Morelos	515	0.02	60.35	11.99	43.18	34.00	86.54	20.88	96.55	353.49
Nayarit	419	0.01	49.10	9.76	35.13	27.66	70.41	16.99	78.55	287.60
Nuevo León	1012	0.03	118.58	23.56	84.85	66.81	170.06	41.04	189.73	694.63
Oaxaca	873	0.03	102.30	20.32	73.20	57.63	146.70	35.40	163.67	599.22
Puebla	1601	0.05	187.60	37.27	134.23	105.70	269.04	64.92	300.15	1,098.92
Querétaro	392	0.01	45.93	9.13	32.87	25.88	65.87	15.90	73.49	269.07
Quintana Roo	336	0.01	39.37	7.82	28.17	22.18	56.46	13.63	62.99	230.63
San Luis Potosí	642	0.02	75.23	14.95	53.83	42.38	107.88	26.03	120.36	440.66
Sinaloa	928	0.03	108.74	21.61	77.81	61.27	155.94	37.63	173.98	636.97
Sonora	921	0.03	107.92	21.44	77.22	60.80	154.77	37.35	172.67	632.17
Tabasco	527	0.02	61.75	12.27	44.19	34.79	88.56	21.37	98.80	361.73
Tamaulipas	1260	0.04	147.64	29.33	105.64	83.18	211.73	51.09	236.22	864.86
Tlaxcala	359	0.01	42.07	8.36	30.10	23.70	60.33	14.56	67.30	246.42
Veracruz de Ignacio de la Llave	2228	0.07	261.07	51.87	186.81	147.09	374.40	90.35	417.70	1,529.29
Yucatán	649	0.02	76.05	15.11	54.42	42.85	109.06	26.32	121.67	445.47
Zacatecas	455	0.02	53.32	10.59	38.15	30.04	76.46	18.45	85.30	312.31
Total	29,838	1.00	3,496.34	694.68	2,501.75	1,969.86	5,014.07	1,209.97	5,593.96	20,480.62

Anexo 1.2 Emisión de COV por número de empleados [Ton/año]

Entidad federativa	Empleados	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura bicapa	Pintura monocapa	Transparente	Otros	Emisión estatal
Aguascalientes	1094	0.01	45.83	9.11	32.79	25.82	65.72	15.86	73.32	268.44
Baja California	2880	0.03	120.64	23.97	86.32	67.97	173.01	41.75	193.02	706.67
Baja California Sur	568	0.01	23.79	4.73	17.02	13.40	34.12	8.23	38.07	139.37
Campeche	609	0.01	25.51	5.07	18.25	14.37	36.58	8.83	40.81	149.43
Coahuila de Zaragoza	2355	0.03	98.65	19.60	70.59	55.58	141.47	34.14	157.83	577.85
Colima	746	0.01	31.25	6.21	22.36	17.61	44.81	10.81	50.00	183.05
Chiapas	2400	0.03	100.53	19.97	71.93	56.64	144.17	34.79	160.85	588.89
Chihuahua	2800	0.03	117.29	23.30	83.92	66.08	168.20	40.59	187.65	687.04
Distrito Federal	7504	0.09	314.33	62.45	224.91	177.10	450.78	108.78	502.91	1,841.26
Durango	1049	0.01	43.94	8.73	31.44	24.76	63.02	15.21	70.30	257.39
Guanajuato	3791	0.05	158.80	31.55	113.63	89.47	227.73	54.96	254.07	930.20
Guerrero	1875	0.02	78.54	15.61	56.20	44.25	112.63	27.18	125.66	460.07
Hidalgo	2222	0.03	93.08	18.49	66.60	52.44	133.48	32.21	148.92	545.21
Jalisco	7172	0.09	300.42	59.69	214.96	169.26	430.83	103.97	480.66	1,759.80
México	8002	0.10	335.19	66.60	239.84	188.85	480.69	116.00	536.29	1,963.46
Michoacán de Ocampo	3625	0.04	151.85	30.17	108.65	85.55	217.76	52.55	242.94	889.47
Morelos	1322	0.02	55.38	11.00	39.62	31.20	79.41	19.16	88.60	324.38
Nayarit	1058	0.01	44.32	8.81	31.71	24.97	63.56	15.34	70.91	259.60
Nuevo León	4001	0.05	167.60	33.30	119.92	94.42	240.35	58.00	268.14	981.73
Oaxaca	1915	0.02	80.22	15.94	57.40	45.19	115.04	27.76	128.34	469.89
Puebla	3822	0.05	160.10	31.81	114.56	90.20	229.59	55.40	256.15	937.81
Querétaro	1238	0.01	51.86	10.30	37.11	29.22	74.37	17.95	82.97	303.77
Quintana Roo	968	0.01	40.55	8.06	29.01	22.84	58.15	14.03	64.87	237.52
San Luis Potosí	1825	0.02	76.45	15.19	54.70	43.07	109.63	26.46	122.31	447.80
Sinaloa	2642	0.03	110.67	21.99	79.19	62.35	158.71	38.30	177.06	648.27
Sonora	2401	0.03	100.57	19.98	71.96	56.66	144.23	34.81	160.91	589.14
Tabasco	1421	0.02	59.52	11.83	42.59	33.54	85.36	20.60	95.23	348.67
Tamaulipas	3201	0.04	134.08	26.64	95.94	75.54	192.29	46.40	214.53	785.43
Tlaxcala	769	0.01	32.21	6.40	23.05	18.15	46.20	11.15	51.54	188.69
Veracruz de Ignacio de la Llave	5354	0.06	224.27	44.56	160.47	126.36	321.62	77.61	358.82	1,313.72
Yucatán	1783	0.02	74.69	14.84	53.44	42.08	107.11	25.85	119.50	437.50
Zacatecas	1056	0.01	44.23	8.79	31.65	24.92	63.44	15.31	70.77	259.11
Total	83,468	1.00	3,496.34	694.68	2,501.75	1,969.86	5,014.07	1,209.97	5,593.96	20,480.62

Anexo 1.3 Emisión de COV por accidentes terrestres [Ton/año]

Entidad federativa	Accidentes	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura bicapa	Pintura monocapa	Transparente	Otros	Emisión estatal
Aguascalientes	5,313	0.01	47.98	9.53	34.33	27.03	68.80	16.60	76.76	281.04
Baja California	15,893	0.04	143.52	28.51	102.69	80.86	205.82	49.67	229.62	840.68
Baja California Sur	5,065	0.01	45.74	9.09	32.73	25.77	65.59	15.83	73.18	267.92
Campeche	4,554	0.01	41.12	8.17	29.43	23.17	58.97	14.23	65.80	240.89
Coahuila de Zaragoza	11,732	0.03	105.94	21.05	75.80	59.69	151.93	36.66	169.50	620.58
Colima	7,003	0.02	63.24	12.56	45.25	35.63	90.69	21.88	101.18	370.43
Chiapas	3,410	0.01	30.79	6.12	22.03	17.35	44.16	10.66	49.27	180.38
Chihuahua	33,134	0.09	299.20	59.45	214.09	168.57	429.09	103.55	478.71	1,752.66
Distrito Federal	16,466	0.04	148.69	29.54	106.39	83.77	213.24	51.46	237.90	870.99
Durango	6,944	0.02	62.71	12.46	44.87	35.33	89.93	21.70	100.33	367.31
Guanajuato	18,088	0.05	163.34	32.45	116.87	92.03	234.24	56.53	261.33	956.79
Guerrero	3,467	0.01	31.31	6.22	22.40	17.64	44.90	10.83	50.09	183.39
Hidalgo	3,906	0.01	35.27	7.01	25.24	19.87	50.58	12.21	56.43	206.61
Jalisco	54,691	0.14	493.87	98.13	353.38	278.25	708.25	170.91	790.16	2,892.95
México	16,966	0.04	153.21	30.44	109.62	86.32	219.71	53.02	245.12	897.44
Michoacán de Ocampo	8,523	0.02	76.96	15.29	55.07	43.36	110.37	26.63	123.14	450.83
Morelos	8,814	0.02	79.59	15.81	56.95	44.84	114.14	27.54	127.34	466.23
Nayarit	2,183	0.01	19.71	3.92	14.11	11.11	28.27	6.82	31.54	115.47
Nuevo León	57,529	0.15	519.49	103.22	371.72	292.69	745.00	179.78	831.17	3,043.07
Oaxaca	3,357	0.01	30.31	6.02	21.69	17.08	43.47	10.49	48.50	177.57
Puebla	10,254	0.03	92.60	18.40	66.26	52.17	132.79	32.04	148.15	542.40
Querétaro	14,713	0.04	132.86	26.40	95.07	74.85	190.53	45.98	212.57	778.26
Quintana Roo	9,963	0.03	89.97	17.88	64.37	50.69	129.02	31.13	143.94	527.00
San Luis Potosí	4,463	0.01	40.30	8.01	28.84	22.71	57.80	13.95	64.48	236.08
Sinaloa	11,660	0.03	105.29	20.92	75.34	59.32	151.00	36.44	168.46	616.77
Sonora	12,596	0.03	113.74	22.60	81.39	64.08	163.12	39.36	181.98	666.28
Tabasco	3,639	0.01	32.86	6.53	23.51	18.51	47.13	11.37	52.58	192.49
Tamaulipas	11,378	0.03	102.74	20.41	73.52	57.89	147.35	35.56	164.39	601.85
Tlaxcala	3,740	0.01	33.77	6.71	24.17	19.03	48.43	11.69	54.03	197.83
Veracruz de Ignacio de la Llave	7,793	0.02	70.37	13.98	50.35	39.65	100.92	24.35	112.59	412.22
Yucatán	7,450	0.02	67.27	13.37	48.14	37.90	96.48	23.28	107.64	394.08
Zacatecas	2,498	0.01	22.56	4.48	16.14	12.71	32.35	7.81	36.09	132.13
Total	387,185	1.00	3,496.34	694.68	2,501.75	1,969.86	5,014.07	1,209.97	5,593.96	20,480.62

Anexo 2 Emisión estatal específica de COV

Anexo 2.1 Emisión de estireno [Ton/año]

Entidad federativa	Fde	Rellenador	Emisión estatal
Aguascalientes	0.01	11.51	11.51
Baja California	0.03	30.30	30.30
Baja California Sur	0.01	5.98	5.98
Campeche	0.01	6.41	6.41
Coahuila de Zaragoza	0.03	24.78	24.78
Colima	0.01	7.85	7.85
Chiapas	0.03	25.25	25.25
Chihuahua	0.03	29.46	29.46
Distrito Federal	0.09	78.95	78.95
Durango	0.01	11.04	11.04
Guanajuato	0.05	39.88	39.88
Guerrero	0.02	19.73	19.73
Hidalgo	0.03	23.38	23.38
Jalisco	0.09	75.46	75.46
México	0.10	84.19	84.19
Michoacán de Ocampo	0.04	38.14	38.14
Morelos	0.02	13.91	13.91
Nayarit	0.01	11.13	11.13
Nuevo León	0.05	42.09	42.09
Oaxaca	0.02	20.15	20.15
Puebla	0.05	40.21	40.21
Querétaro	0.01	13.02	13.02
Quintana Roo	0.01	10.18	10.18
San Luis Potosí	0.02	19.20	19.20
Sinaloa	0.03	27.80	27.80
Sonora	0.03	25.26	25.26
Tabasco	0.02	14.95	14.95
Tamaulipas	0.04	33.68	33.68
Tlaxcala	0.01	8.09	8.09
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.06	56.33	56.33
Yucatán	0.02	18.76	18.76
Zacatecas	0.01	11.11	11.11
Total	1.00	878.15	878.15

Anexo 2.2 Emisión de etilbenceno [Ton/año]

Entidad federativa	Fde	Pintura bicapa	Transparente	Otros	Emisión estatal
Aguascalientes	0.01	1.65	1.79	0.84	4.28
Baja California	0.03	4.33	4.72	2.22	11.27
Baja California Sur	0.01	0.85	0.93	0.44	2.22
Campeche	0.01	0.92	1.00	0.47	2.38
Coahuila de Zaragoza	0.03	3.54	3.86	1.82	9.22
Colima	0.01	1.12	1.22	0.58	2.92
Chiapas	0.03	3.61	3.93	1.85	9.39
Chihuahua	0.03	4.21	4.59	2.16	10.96
Distrito Federal	0.09	11.28	12.30	5.79	29.37
Durango	0.01	1.58	1.72	0.81	4.11
Guanajuato	0.05	5.70	6.21	2.92	14.84
Guerrero	0.02	2.82	3.07	1.45	7.34
Hidalgo	0.03	3.34	3.64	1.71	8.70
Jalisco	0.09	10.79	11.76	5.53	28.07
México	0.10	12.03	13.12	6.17	31.32
Michoacán de Ocampo	0.04	5.45	5.94	2.79	14.19
Morelos	0.02	1.99	2.17	1.02	5.17
Nayarit	0.01	1.59	1.73	0.82	4.14
Nuevo León	0.05	6.02	6.56	3.08	15.66
Oaxaca	0.02	2.88	3.14	1.48	7.50
Puebla	0.05	5.75	6.26	2.95	14.96
Querétaro	0.01	1.86	2.03	0.95	4.85
Quintana Roo	0.01	1.46	1.59	0.75	3.79
San Luis Potosí	0.02	2.74	2.99	1.41	7.14
Sinaloa	0.03	3.97	4.33	2.04	10.34
Sonora	0.03	3.61	3.94	1.85	9.40
Tabasco	0.02	2.14	2.33	1.10	5.56
Tamaulipas	0.04	4.81	5.25	2.47	12.53
Tlaxcala	0.01	1.16	1.26	0.59	3.01
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.06	8.05	8.78	4.13	20.96
Yucatán	0.02	2.68	2.92	1.37	6.98
Zacatecas	0.01	1.59	1.73	0.81	4.13
Total	1.00	125.52	136.81	64.35	326.69

Anexo 2.3 Emisión de tolueno [Ton/año]

Entidad federativa	Fde	Pintura bicapa	Transparente	Otros	Emisión estatal
Aguascalientes	0.01	6.58	5.12	21.93	33.63
Baja California	0.03	17.32	13.49	57.73	88.54
Baja California Sur	0.01	3.42	2.66	11.39	17.46
Campeche	0.01	3.66	2.85	12.21	18.72
Coahuila de Zaragoza	0.03	14.17	11.03	47.21	72.40
Colima	0.01	4.49	3.49	14.95	22.93
Chiapas	0.03	14.44	11.24	48.11	73.79
Chihuahua	0.03	16.84	13.11	56.13	86.08
Distrito Federal	0.09	45.14	35.14	150.42	230.70
Durango	0.01	6.31	4.91	21.03	32.25
Guanajuato	0.05	22.80	17.75	75.99	116.55
Guerrero	0.02	11.28	8.78	37.58	57.64
Hidalgo	0.03	13.37	10.41	44.54	68.31
Jalisco	0.09	43.14	33.59	143.76	220.49
México	0.10	48.14	37.47	160.40	246.01
Michoacán de Ocampo	0.04	21.81	16.98	72.66	111.45
Morelos	0.02	7.95	6.19	26.50	40.64
Nayarit	0.01	6.36	4.95	21.21	32.53
Nuevo León	0.05	24.07	18.74	80.20	123.01
Oaxaca	0.02	11.52	8.97	38.39	58.87
Puebla	0.05	22.99	17.90	76.61	117.50
Querétaro	0.01	7.45	5.80	24.82	38.06
Quintana Roo	0.01	5.82	4.53	19.40	29.76
San Luis Potosí	0.02	10.98	8.55	36.58	56.11
Sinaloa	0.03	15.89	12.37	52.96	81.22
Sonora	0.03	14.44	11.24	48.13	73.82
Tabasco	0.02	8.55	6.65	28.48	43.69
Tamaulipas	0.04	19.26	14.99	64.16	98.41
Tlaxcala	0.01	4.63	3.60	15.41	23.64
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.06	32.21	25.07	107.32	164.60
Yucatán	0.02	10.73	8.35	35.74	54.82
Zacatecas	0.01	6.35	4.95	21.17	32.47
Total	1.00	502.09	390.89	1,673.14	2,566.12

Anexo 2.4 Emisión de xileno [Ton/año]

Entidad federativa	Fde	Rellenador	Masilla	Primario	Pintura bicapa	Transparente	Otros	Emisión COV
Aguascalientes	0.01	6.14	2.44	3.21	6.03	7.43	4.22	29.46
Baja California	0.03	16.16	6.42	8.44	15.88	19.56	11.10	77.56
Baja California Sur	0.01	3.19	1.27	1.66	3.13	3.86	2.19	15.30
Campeche	0.01	3.42	1.36	1.78	3.36	4.14	2.35	16.40
Coahuila de Zaragoza	0.03	13.21	5.25	6.90	12.99	15.99	9.08	63.42
Colima	0.01	4.19	1.66	2.19	4.11	5.07	2.88	20.09
Chiapas	0.03	13.47	5.35	7.03	13.23	16.30	9.25	64.63
Chihuahua	0.03	15.71	6.24	8.20	15.44	19.01	10.79	75.40
Distrito Federal	0.09	42.11	16.73	21.98	41.38	50.96	28.93	202.08
Durango	0.01	5.89	2.34	3.07	5.78	7.12	4.04	28.25
Guanajuato	0.05	21.27	8.45	11.11	20.90	25.74	14.61	102.09
Guerrero	0.02	10.52	4.18	5.49	10.34	12.73	7.23	50.49
Hidalgo	0.03	12.47	4.95	6.51	12.25	15.09	8.57	59.84
Jalisco	0.09	40.24	15.99	21.01	39.55	48.70	27.65	193.14
México	0.10	44.90	17.84	23.44	44.12	54.34	30.85	215.49
Michoacán de Ocampo	0.04	20.34	8.08	10.62	19.99	24.62	13.97	97.62
Morelos	0.02	7.42	2.95	3.87	7.29	8.98	5.10	35.60
Nayarit	0.01	5.94	2.36	3.10	5.83	7.18	4.08	28.49
Nuevo León	0.05	22.45	8.92	11.72	22.06	27.17	15.42	107.74
Oaxaca	0.02	10.75	4.27	5.61	10.56	13.00	7.38	51.57
Puebla	0.05	21.45	8.52	11.20	21.07	25.95	14.73	102.92
Querétaro	0.01	6.95	2.76	3.63	6.83	8.41	4.77	33.34
Quintana Roo	0.01	5.43	2.16	2.84	5.34	6.57	3.73	26.07
San Luis Potosí	0.02	10.24	4.07	5.35	10.06	12.39	7.04	49.15
Sinaloa	0.03	14.82	5.89	7.74	14.57	17.94	10.18	71.15
Sonora	0.03	13.47	5.35	7.03	13.24	16.30	9.26	64.66
Tabasco	0.02	7.97	3.17	4.16	7.84	9.65	5.48	38.27
Tamaulipas	0.04	17.96	7.14	9.38	17.65	21.74	12.34	86.20
Tlaxcala	0.01	4.31	1.71	2.25	4.24	5.22	2.96	20.71
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.06	30.04	11.94	15.69	29.52	36.36	20.64	144.18
Yucatán	0.02	10.00	3.97	5.22	9.83	12.11	6.87	48.02
Zacatecas	0.01	5.93	2.35	3.09	5.82	7.17	4.07	28.44
Total	1.00	468.35	186.07	244.54	460.25	566.79	321.76	2,247.75

