

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



**INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA INDUSTRIA PARA LA
EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL
ESTADO DE MÉXICO**

TESIS QUE PRESENTA

IRMA FABIOLA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE
MDS03**

MAYO, 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA INDUSTRIA PARA LA EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL ESTADO DE MÉXICO.

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

IRMA FABIOLA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

Asesor: Dr. GERARDO MANUEL MEJÍA VELÁZQUEZ
Coasesor: M. en C. DZOARA DAMARIS TEJEDA HONSTEIN

Jurado:	Dr. ILANGO VAN KUPPUSAMY AMMAL,	Presidente
	Dr. GERARDO MANUEL MEJÍA VELÁZQUEZ,	Secretario
	M. en C. DZOARA DAMARIS TEJEDA HONSTEIN,	Vocal

Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx., Mayo de 2005.

Dedicatorias

A mi esposo y amigo Mario, el complemento de mi vida. Esta meta es un esfuerzo compartido contigo. Por tu amor, ánimos, consejos, tu doctrina de vida y promoción constante profesional y personal, un millón de gracias, sin embargo esta dimensión se queda corta para agradecértelo.

A mis padres Enrique e Irma, por sus enseñanzas y ejemplo a seguir, soy por ustedes. A mis hermanos y familia porque somos la unión de confianza y amor, base de todo lo que nos proponemos.

A mi asesora y amiga Dzoara, por confiar en mí. Por tu tiempo, apoyo, dedicación, reparos y enseñanzas. Esta es la semilla de una trayectoria larga y llena de frutos, en todos los sentidos.

A mi asesor Dr. Gerardo Mejia, por sus conocimientos, juicio y experiencia. Es un orgullo y compromiso ser su tesista.

A todos los que creen y trabajan por nuestro bien común, en especial a mis amigos de Aire y de la MDS.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo para la realización de este trabajo de tesis al siguiente proyecto e instituciones:

Cátedra de investigación: “Desarrollo de herramientas técnicas para el control y prevención de la contaminación atmosférica en la ZMVM”, apoyada por el Tec. de Monterrey, Campus Estado de México, por la beca para la realización de mis estudios de maestría, así como las facilidades para la elaboración y publicación de mi investigación.

Secretaria de Ecología del Estado de México, especialmente a la Dirección de Diagnóstico Ambiental, por los datos proporcionados.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca hacia mi investigación.

Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el estímulo económico para mis estudios de postgrado.

Resumen

La industria es el 2° sector que más consume energéticos contribuyendo a las emisiones de contaminantes a la atmósfera (Secretaría de Energía, 2004). Este sector ha registrado un crecimiento considerable en los municipios conurbados del Estado de México. Ante esto las autoridades ambientales han establecido el desarrollo de indicadores como un procedimiento formal y reconocido a escala internacional para evaluar la contaminación del aire, por lo que, en el presente trabajo se desarrolla una metodología para Indicadores Energéticos de la industria en el Estado de México.

También se establece la relación de la energía consumida por tipo de combustible y cantidad de emisiones atmosféricas. De esta forma la cantidad de emisiones se puede estimar a partir del consumo de energía del combustible usado identificado por las toneladas de producción, número de obreros y/o horas de operación. Los indicadores desarrollados relacionan el consumo de energía con: horas de operación, número de obreros y cantidad de producción de manera satisfactoria a nivel de rama y actividad industrial. Se desarrollaron Indicadores Energéticos para 3 ramas y 8 actividades industriales.

Los datos utilizados en el presente trabajo, los cuales se emplearon para el desarrollo del Inventario de Emisiones de la ZMVM del año 2000, fueron otorgados por la Dirección de Diagnóstico Ambiental, de la Secretaría de Ecología del Estado de México.

Contenido

Introducción	1
Objetivos	4
Capítulo 1. Antecedentes	
1.1. Zona Metropolitana del Valle de México	5
1.2. Indicadores ambientales	9
1.2.1 Indicadores para el desarrollo energético sostenible	10
1.3. Reconversión energética	12
Capítulo 2. Instrumentos de gestión e indicadores ambientales atmosféricos de la ZMVM	
2.1 Instrumentos de control y prevención	14
2.2 Inventarios de emisiones	22
2.3 Indicadores de la calidad del aire	23
Capítulo 3. Desarrollo de Indicadores Energéticos	
3.1 Metodología para Indicadores Energéticos	30
Capítulo 4. Indicadores Energéticos	
4.1 Datos del Inventario 2000 de la ZMVM	37
4.1.1 Análisis de la base de datos	37
4.1.2 Control de calidad de los datos	39
4.2 Indicadores Energéticos a nivel de relación del consumo de energía.....	43
4.2.1 Nivel de sector industrial	45
4.2.2 Nivel de subsector industrial	49
4.2.3 Nivel de rama y actividad industrial	50
4.2.3.1. Indicadores a nivel de rama industrial	57
4.2.3.2. Indicadores a nivel de actividad industrial	58
Capítulo 5. Correlación de Indicadores Energéticos con emisiones a la atmósfera	64
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	
6.1 Conclusiones	67
6.2 Recomendaciones	68
Referencias	69
Bibliografía (lecturas recomendadas)	72
Anexo A. Metodología del control de calidad de los datos	74
Anexo B. Lista de subsectores y ramas industriales de la muestra de la base de datos.	79
Anexo C. Análisis estadístico percentil para control de la calidad de los datos.	83
Anexo D. Cálculos para el desarrollo de Indicadores Energéticos.	85

Lista de Figuras

Figura		Pág.
1.1	Distribución por tipo de combustible en la ZMVM (1990–2001)	7
1.2	IMECAS (base del O ₃) de las 9:00, 14:00 y 18:00 h. del 15 de septiembre 2004 en la ZMVM	8
2.1	Tendencia del monitoreo atmosférico de contaminantes atmosféricos y su principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000	17
2.2	Indicadores ambientales desarrollados para calidad del aire	25
2.3	Comportamiento de las concentraciones máximas diarias de NO ₂ en la ZMVM en 5 estaciones de monitoreo (1990-2000)	26
2.4	Tendencia histórica de las PM-10 en la ZMVM (1990-2000)	27
2.5	Promedio anual 1990-2000 de los primeros 30 máximos diarios del O ₃ por año.	28
3.1	Diagrama de la metodología propuesta para el desarrollo de Indicadores Energéticos	33
4.1	Porcentaje de contribución de establecimientos industriales por municipio y competencia	38
4.2	Porcentaje de contribución de establecimientos industriales por subsector industrial	39
4.3	Porcentaje de consumo por tipo de combustible	40
4.4	Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México y número de obreros (100% establecimientos).	45
4.5	Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México VS número de obreros (89% establecimientos cuyo número de obreros es menor a 500)	46
4.6	Relación de la energía consumida hasta 5,250 MJ/año y número de obreros (63% de la muestra)	47
4.7	Relación de la energía consumida de 5,250 – 43,000 MJ/año y número de obreros (9% de la muestra)	47
4.8	Relación de la energía consumida de 43,000 – 110,000 MJ/año y número de obreros (0.9% de la muestra)	48
4.9	Relación de la energía consumida mayor a 110,000 MJ/año y número de obreros (15% de la muestra)	48
4.10	Relación del consumo de energía con la producción del subsector 35 de los establecimientos conurbanos del Estado de México (33% de la muestra)	49
4.11	Relación del consumo de energía y producción de la actividad FAIS (30% de establecimientos de la rama “Fabricación de otras sustancias y productos químicos”)	51

4.12	Relación del consumo de energía y producción de la actividad FJDD (36% de establecimientos de la rama “Fabricación de otras sustancias y productos químicos”)	53
4.13	Relación del consumo de energía y producción de la actividad FLEREA (33% de establecimientos de la rama “Industrias básicas de metales no ferrosos incluye el tratamiento de combustibles nucleares”)	55
4.14	Relación de la energía consumida y tiempo de operación en horas al año de la actividad FLA	61
A.1	Calificación relativa de la base de datos considerando los resultados de las encuestas de expertos para Inventario de Emisiones 2002 de Naucalpan	77
C.1	Graficas de cajas de los percentiles de la de la relación de la emisión de PM10 entre la cantidad de combustible consumido	84
D.1	Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México y producción (100% establecimientos)	86
D.2	Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del Estado de México y tiempo de operación (100% establecimientos)	87
D.3	Relación del consumo de energía con el número de obreros del subsector de SQPDP de los establecimientos conurbanos del Estado de México (33% de la muestra)	88
D.4	Relación del consumo de energía con tiempo de operación del subsector de SQPDP de los establecimientos conurbanos del Estado de México (33% de la muestra)	89

Lista de Tablas

Tabla		Pág.
1.1	Proyección de emisiones al 2010(Ton/año) por la combustión en la industria ...	12
2.1	Fases y niveles de activación y desactivación del Programa de Contingencias Ambientales de la ZMVM	15
2.2	Indicadores de la calidad del aire de la ZMVM basados en concentración del contaminante	24
2.3	Prueba de tendencia de Mann-Kendall para PM ₁₀ en la ZMVM de 1995 a 2000.	27
4.1	Factores de emisión teóricos calculados para control de calidad de la base de datos y emisiones del Inventario de Emisiones por tipo de combustión	42
4.2	Energía consumida inicial y recalculada a partir del sistema de control de calidad	43
4.3	Consumo de energía de los 461 establecimientos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec	43
4.4	ANOVA de la relación del consumo de energía y número de obreros del 100% de la muestra	45
4.5	ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y producción del subsector SQPDP	50
4.6	Indicador de Energía por establecimiento industrial de la actividad FAIS	52
4.7	Indicador de Energía por establecimiento industrial de la actividad FJDD	53
4.8	Características de los establecimientos de la actividad FJDD	54
4.9	Indicador de Energía por establecimiento industrial de la actividad FLEREA.	55
4.10	Características de los establecimientos de la actividad de la actividad FLEREA	56
4.11	Consumo de energía y horas de operación de 5 establecimientos similares en tiempo de operación de la actividad FLA	61
4.12	Resumen de Indicadores Energéticos (por producción, obreros y horas de operación) para 8 grupos a nivel de actividad y 3 a nivel de rama para el sector industrial de la zona conurbana del Estado de México	62
5.1	Indicador de la emisión de contaminantes atmosféricos generados por unidad de energía por tipo de combustible de los establecimientos industriales de los municipios conurbados del Estado de México	65
5.2	Emisiones de los establecimientos de la actividad FJDD estimados por el Indicador de toneladas de emisiones por energía consumida	65
5.3	Contribución en porcentaje de emisiones atmosféricas por tipo de combustible	66

A.1	Metodología del control de calidad para los datos de Inventarios de Emisiones ..	76
A.2	Calificaciones de los expertos en relación de los datos para el Inventario de Emisiones	77
A.3	Inventario de emisiones totales en Ton/año para el municipio de Naucalpan para el año 2002	78
A.4	Inventario final de emisiones en ton/año para el municipio de Naucalpan 200....	78
B1	Listado de subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos muestra de la base de datos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec	79
C.1	Datos estadísticos del control de calidad de los datos por tipo de combustible ...	83
D.1	ANOVA de la relación del consumo de energía y la producción total del 100% de la muestra	86
D.2	ANOVA de la relación del consumo de energía y tiempo de operación del 100% de la muestra	87
D.3	ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y número de obreros del subsector SQPDP	88
D.4	ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y tiempo de operación del subsector SQPDP	89
D.5	Ecuaciones matemáticas de la relación de consumo de energía con los parámetros de cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación de 3 ramas y 8 actividades industriales	90

Introducción

El crecimiento de una comunidad, región o de un país depende de diferentes factores, entre ellos del crecimiento del capital, la mano de obra, la energía y el progreso tecnológico. La producción y las actividades potenciales están limitadas por la disponibilidad de mano de obra, energía y por toda una historia de formación de capital. Sin embargo las restricciones ambientales y de los recursos de hidrocarburos imponen la necesidad de utilizar la energía de la forma más eficiente posible, produciendo cada vez más bienes con menos energía o disminuyendo la intensidad de uso de energéticos para un mismo nivel de producción.

La intensidad energética se define como el cociente del consumo final de energía y el valor agregado en unidades monetarias para un sector determinado o de la economía en su conjunto. Este indicador varía de acuerdo a las condiciones de cada país y en el tiempo. La estructura y nivel de producción, la evolución de la tecnología y el comportamiento socioeconómico explican la intensidad energética. (Secretaría de Energía, 2004)

Sin embargo, el acelerado crecimiento de las ciudades a puesto una gran presión en el uso de recursos energéticos al incrementar las necesidades de energía en el sector industrial y de transporte, contribuyendo en el deterioro de la calidad del aire. Tal es el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y su demanda de servicios. El consumo diario promedio de combustibles en el Valle para el año 2002, se estimó en 298 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir 47 millones de litros por día. El sector industrial¹ demandó el 35% de la energía total que se utiliza en la zona (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2002).

Específicamente para el sector industrial, los datos del inventario de la ZMVM para 1998, 2000 y 2002, establecen que este sector contribuyó en promedio, con el 55% de emisiones de bióxido de azufre (SO₂), con el 20% del material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) y del 13% con las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) (Secretaría

¹ Los sectores transporte e industrial demandan en promedio el 88% de la energía que se utiliza en la ZMVM.

del Medio Ambiente del D.F. 2000, 2002 y 2004). Sin embargo la actividad industrial en el Distrito Federal ha disminuido respecto a años anteriores, favoreciendo el comercio y los servicios. En cambio, los municipios conurbados del Estado de México registran un ritmo creciente de establecimientos industriales (INEGI, 2004).

En el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002-2010 (PROAIRE 2002-2010) se plantea la búsqueda de soluciones conjuntas a la problemática ambiental del Valle de México, considerando los tres niveles de gobierno: municipal, estatal y federal. Entre las estrategias vinculadas con la reducción de emisiones en la industria se encuentra la modernización tecnológica y control de emisiones. En esta resalta como medida de acción la **“reconversión energética en la industria”**, ya que de continuar con la tendencia en el consumo de energéticos actual en el Valle, las emisiones atmosféricas crecerían en un 65% considerando las proyecciones al 2010 (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002).

El PROAIRE 2002-2010 establece desarrollar indicadores, como un procedimiento formal y reconocido a escala internacional para evaluar los avances sobre la contaminación del aire. Los indicadores son una representación numérica que sintetiza información en un periodo de evaluación. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la organización Mundial de la Salud (OMS) han emitido criterios metodológicos para el desarrollo de indicadores.

Considerando los programas y recomendaciones mencionados, el presente trabajo constituye la metodología para establecer indicadores considerando el consumo energético por combustibles fósiles y su contribución de emisiones atmosféricas en el Estado de México. En el Capítulo 1 se presenta el problema atmosférico y la demanda de insumos de las megaciudades, especificando la problemática de la Zona Metropolitana del Valle de México, justificando y estableciendo objetivos del trabajo. Así también se presenta los antecedentes de los Indicadores Energéticos, así como los Indicadores Ambientales que se han desarrollado en la ZMVM. El Capítulo 2 de “Instrumentos de gestión e indicadores ambientales atmosféricos” se aborda de manera general los instrumentos de control y prevención y los inventarios de emisiones que se han instrumentado en la ZMVM, así como los Indicadores Ambientales que se han desarrollado a partir de estos instrumentos.

El Capítulo 3 “Indicadores energéticos” se explica la metodología para el desarrollo de indicadores energéticos. La metodología del Capítulo 3 es aplicada en el Capítulo 4 relacionado los datos de la energía del consumo de combustibles con datos de cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación del sector industrial del Estado de México, para 3 ramas y 8 actividades industriales.

En el Capítulo 5 se correlacionan los indicadores energéticos con las emisiones a la atmósfera por tipo de combustible y contaminante de manera cuantitativa. Finalmente en

el Capítulo 6 se presentan las conclusiones resaltando que la metodología presentada es factible para el desarrollo de Indicadores Energéticos de manera aceptable a nivel de rama y actividad industrial. Considerando la heterogeneidad de los datos, los indicadores son desarrollados para grupos de 4 establecimientos como mínimo y con porcentaje de error menor 15% para considerarse como un dato aceptable.

Objetivos

Objetivo general

El desplazamiento del sector industrial del Distrito Federal a los municipios conurbados del Estado de México hace imperante el enfoque de medidas preventivas y de diagnóstico del deterioro de la calidad del aire de esta zona. Como parte de este diagnóstico las autoridades ambientales de la ZMVM han desarrollado indicadores de la calidad del aire, sin embargo en este trabajo se propone el desarrollo de Indicadores Energéticos para el sector industrial como complemento del diagnóstico. Esto último lleva a realizar un análisis cualitativo sobre la aplicación de las fuentes de energía, su eficiencia y el impacto hacia el ambiente, del sector industrial en el Estado de México. En este trabajo buscamos dar respuesta a esta necesidad, por lo que el objetivo general es:

“Establecer una metodología para el desarrollo de Indicadores Energéticos de la industria en el Estado de México, para la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricas”.

Objetivos específicos

Para cumplir dicho objetivo, se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos particulares:

1. Analizar el comportamiento del consumo de energía con parámetros del sector industrial del Estado de México con la finalidad de seleccionar los parámetros involucrados en el Indicador Energético.
 2. Identificar las relaciones de comportamiento por nivel de subsector, rama o actividad industrial del consumo de energía y los parámetros analizados para determinar el grado de heterogeneidad y de la información por nivel industrial.
 3. Desarrollar la metodología de Indicadores Energéticos considerando las relaciones identificadas en el objetivo anterior para establecer el valor numérico de la relación.
 4. Identificar la relación de la energía consumida y emisiones atmosféricas para evaluar la contaminación atmosférica en base a los Indicadores Energéticos establecidos en un caso de estudio.
-

Capítulo 1

Antecedentes

Las megaciudades presentan una relación compleja de interacciones de la población y el medio ambiente. En ellas se requieren cada vez mayor cantidad de insumos como la energía, el agua o alimentos, lo cual conlleva a una explotación de la naturaleza de forma elevada, generando variedad de impactos ambientales.

Uno de los problemas más persistentes en las megaciudades es la contaminación del aire, que supone costos económicos y sanitarios considerables para la sociedad. Este problema se relaciona con otras cuestiones urbanas y ambientales complejas como la congestión del tráfico y la movilidad, los usos del suelo y el calentamiento global. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es una megaciudad cuyo problema de la calidad del aire ha alcanzado grandes dimensiones. Su acelerado crecimiento de la población y su demanda de servicios ha provocado un incremento enorme de las necesidades de energía y transporte (Molina, 2004). Los problemas de la calidad del aire se reflejan en los Indicadores Ambientales desarrollados a partir de los datos de los inventarios de emisiones de la ZMVM y establecidos en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002-2010 (PROAIRE 2002-2010) (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002 y Secretaria del Medio Ambiente del D.F. 2000, 2002 y 2004)

1.1 Características geográficas y ambientales de la ZMVM.

El Valle de México se ubica sobre los 19°20' de Latitud Norte y 99°05' de Longitud Oeste, formando parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 msnm y una superficie de 9,560 km². La zona presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. El Valle de México esta integrado por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad del Distrito Federal. (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002)

Dentro del Valle se encuentra, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que está formada por las 16 delegaciones del DF y 18 municipios del Estado de México. Los municipios conurbados del Estado de México son: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán de Romero Rubio, Cuautitlán Izcalli, Valle de Chalco, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, San Vicente Chicoloapan, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla y Tultitlán (Secretaría del Medio Ambiente del D.F., 2002).

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada en la porción suroeste del Valle de México. Esta área está sujeta de manera natural a condiciones que no favorecen una adecuada ventilación de la atmósfera. Entre los principales factores fisiográficos y climáticos que afectan la calidad del aire destacan los siguientes: (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002)

- El entorno montañoso que rodea la cuenca constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes. Por ello, es un medio propicio para la acumulación de los contaminantes atmosféricos. Las montañas que delimitan la cuenca alcanzan una altitud promedio de 3,200 metros, con elevaciones que superan los 5,400 metros.
- Las frecuentes inversiones térmicas que ocurren en el valle, en más del 70% de los días del año, son un fenómeno natural que causa un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera. Ello inhibe la capacidad de autodepuración de ésta y favorece la acumulación de los contaminantes. El estancamiento perdura hasta que, al transcurrir el día y de manera gradual, la inversión térmica se rompe debido al calentamiento de la atmósfera, entonces los contaminantes se dispersan.
- Los sistemas anticiclónicos, que se registran frecuentemente en la región centro del país, tienen la capacidad de generar cápsulas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que el Valle de México.
- La intensa y constante radiación solar que se registra en el Valle de México a lo largo de todo el año favorece la formación del ozono. Ello es resultado de las complejas reacciones que la luz ultravioleta del sol desencadena entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos emitidos a la atmósfera, los cuales son precursores del ozono.
- La altitud a la que se ubica el Valle de México (2,240 msnm), determina que el contenido de oxígeno sea 23% menor que a nivel del mar, lo cual tiende a hacer menos eficientes los procesos de combustión, resultando así mayores emisiones a la atmósfera de HC, NOx, y producción de CO.

La latitud a 19° N de la ZMVM, ocasiona que la zona reciba una radiación solar intensa que acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos. Asimismo, su ubicación en el centro del país permite que a lo largo del año resulte afectada por sistemas anticiclónicos, lo que provoca viento débil en superficie y cielo despejado, a causa de la estabilidad atmosférica, con la consecuente dificultad para la dispersión de contaminantes. (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2002)

Actualmente, las autoridades locales y federales han establecido medidas para garantizar la calidad de la información y señalan la necesidad de conformar indicadores para evaluar el desempeño de los programas y acciones de prevención y control (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002). Entre éstos, se consideran el desempeño del consumo de energía dentro de los programas y su contribución con las emisiones contaminantes a la atmósfera.

En los últimos años el consumo energético de la ZMVM ha oscilado entre 550 y 600 petajoules como se muestra en la Figura 1.1 (Secretaría del Medio Ambiente del D.F., 2001). Para reducir este consumo y hacerlo más eficiente, las acciones del Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México 2002-2010 (PROAIRE 2002 - 2010) prevén mejorar la eficiencia de los procesos de combustión en industrias, servicios y transporte, ya que en los próximos años el crecimiento de la mancha urbana y el consumo energético que requieren las actividades económicas y sociales de esta metrópoli tendrán un aumento considerable.

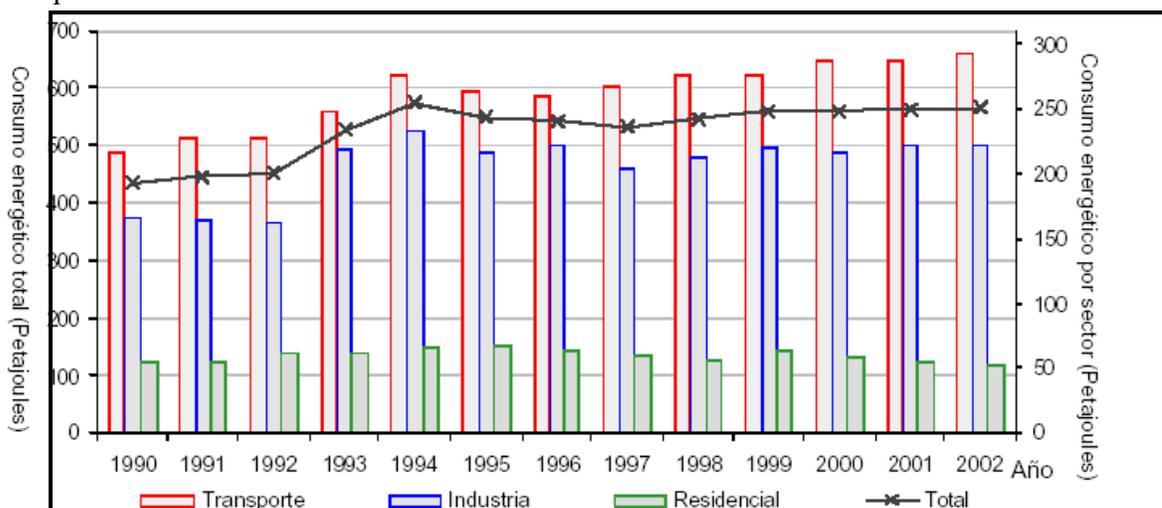


Figura 1.1 Distribución por tipo de combustible en la ZMVM 1990–2001.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del D.F. (2001). Datos proporcionados por PEMEX gas y petroquímica básica, PEMEX refinación. Conversión a Petajoules: Dirección de Inventario y Modelación de Emisiones DGGAA-SMA-GDF (Original en colores).

Precisamente un incremento en el consumo de energía se verá reflejado en un aumento de emisiones a la atmósfera en los diversos procesos mencionados anteriormente, lo que conlleva a complicar la problemática ya existente en cuestión de calidad del aire.

En los últimos años, la ZMVM ha presentado diversos eventos que denotan la presencia de altas concentraciones en la atmósfera de la región. Casos de estos, son los eventos extraordinarios presentados en los años 2000 y 2001, en los cuales se sobrepasó la norma NOM-022-SSA1-1993 de SO₂ de protección a la salud de 24 horas como criterio de exposición crónica. Esta norma recomienda evaluar como indicador de exposición crónica, señalando como límite máximo aceptable una concentración de 0.130 ppm,

durante 24 horas, una vez al año. Sin embargo en 2000 y 2001 se alcanzó y rebasó este parámetro en la estación de monitoreo del área de Tlalnepantla (Secretaría de Ecología del DF, 2001).

La información de la calidad del aire se presenta en el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECAS) que están definidos como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud, dentro de una región determinada² (SIMA, 2005). Con esta información se generan mapas de contaminación para facilitar la interpretación del problema. A manera de ejemplo, analicemos las condiciones atmosféricas del pasado 15 de septiembre de 2004, en las diferentes zonas del Valle de México (Sistema de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México, 2004). Como se observa en la Figura 1.2, el 14 de septiembre del 2004, a las 9:00 AM las condiciones de toda la ZMVM era buena, sin embargo a las 14:00 la zona noroeste y noreste las condiciones eran satisfactorias. Por otro lado la zona sur presentaba a esa hora, una condición no satisfactoria, por lo que podemos deducir que los contaminantes precursores del O₃, generados en la zona norte afectaron las condiciones del sur de valle. También se debe considerar las condiciones meteorológicas, ya que los vientos de norte a sur, y las características del valle propician que se vean afectada la parte sur. Al atardecer vemos esta misma condición, ya que a las 18:00 hrs, aún prevalecía una condición desfavorable en el sur.

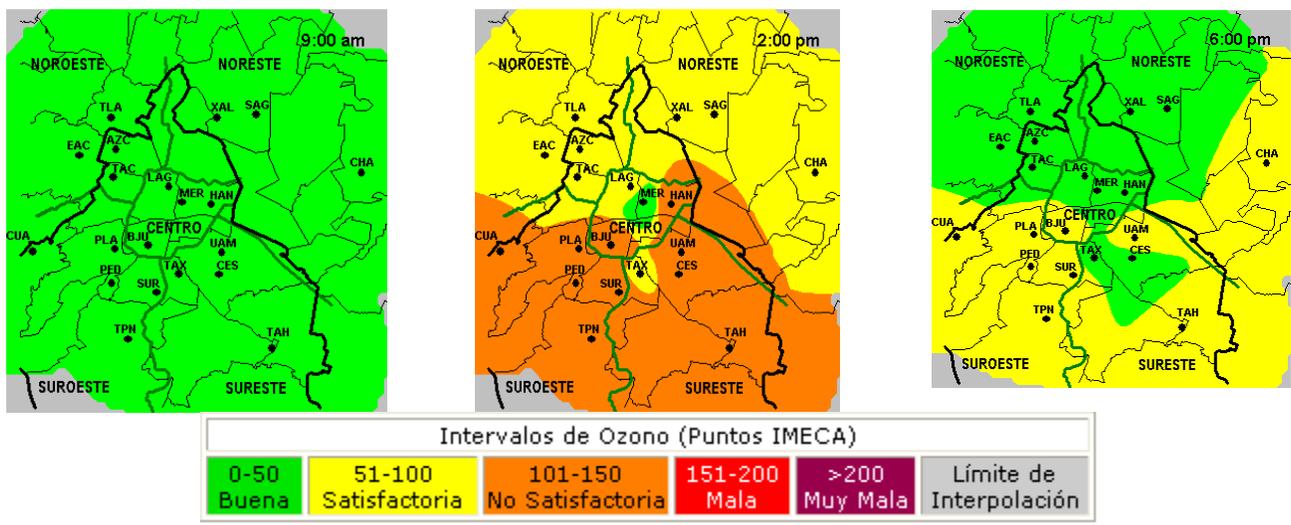


Figura 1.2 IMECAS (base del O₃) de las 9:00, 14:00 y 18:00 h. del 15 de septiembre 2004 en la ZMVM.

Fuente: Gobierno del Distrito Federal. Sistema de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México, 2004 (Original en colores).

² El IMECA consta de dos algoritmos de cálculo fundamentales; el primero, para la obtención de subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire; y el segundo, para la combinación de éstos en un índice global.

El área Noroeste, específicamente los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Ecatepec del Estado de México, es una zona en la que se genera una gran cantidad de contaminantes, especialmente de SO₂ y NO_x. El origen de éstos contaminantes en su mayoría es el resultado de la combustión en establecimientos industriales. Sin embargo los indicadores establecidos por las autoridades, son considerando las condiciones meteorológicas y de calidad del aire, por lo que se requiere de indicadores de fuentes fijas.

1.2 Indicadores ambientales

Los indicadores, en general, son parámetros que nos permiten evaluar y comunicar información sobre el contexto, situación real, progresos o tendencias de un tema en específico, transformándola en datos objetivos que permiten conocer tangiblemente las condiciones y entorno de un escenario (OCDE, 2003). En otras palabras se entiende como un indicador a una representación numérica que sintetiza información en un periodo de evaluación.

Los Indicadores Ambientales son formas directas o indirectas de medir la calidad del ambiente los cuales son utilizados para determinar la situación actual y las tendencias en la capacidad del ambiente para sustentar la preservación ambiental, ecológica y la salud humana. Para el caso de las condiciones ambientales de la ZMVM, las autoridades federales y locales conducen a la puesta en marcha de herramientas de control y prevención de contaminación ambiental.

Los indicadores que se han realizado en los programas de calidad del aire, así como en los inventarios de emisiones, establecen la calidad del aire y meteorología del Valle de México, mismos que se integran en el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). Estos indicadores se establecen con los resultados de la concentración de ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), plomo (Pb) y partículas suspendidas totales (PST) y de fracción respirable (PM₁₀), así como datos de la lluvia ácida, de acuerdo con el fenómeno que representan y el tipo de equipo de monitoreo. En el Capítulo 2 se analiza con mayor profundidad los tipos de indicadores de calidad del aire que se realizan con la información del SIMAT.

El enfoque de los indicadores específicos que ha desarrollado el sector industrial está relacionado principalmente a la medición de la producción con cuestiones económicas. En su mayoría éstos indicadores establecen cuál debe ser la forma de producción, o el dimensionamiento y el equipamiento necesarios de una industria. En este sentido la valoración de los resultados de la actividad productiva debe realizarse no sólo mediante indicadores técnico-económicos, sino también con indicadores del impacto social y

medioambiental. Sin embargo, poco se ha trabajado con indicadores que permitan observar el comportamiento ambiental de las fuentes puntuales, es decir indicadores que reflejen su contribución de emisiones en relación a su tipo y forma de producción en una determinada zona. Ante esta situación una de las actividades industriales de mayor presión, es el uso de energía por la combustión de combustibles fósiles, cuyos efectos negativos se observan en emisiones de contaminantes atmosféricos.

Analizando los datos del sector industrial del balance nacional de energía se encuentra que el consumo nacional de energía de este sector, tiene una tasa de crecimiento promedio anual de 0.9% en el periodo comprendido entre 1990-2002, para el mismo período muestra un decrecimiento en la intensidad energética de 2% anual. En términos generales la intensidad energética en las ramas industriales ha venido disminuyendo. Las ramas que han decrecido en intensidad energética son celulosa y papel 6%, aluminio 5%, azúcar 3.7%, siderurgia 3.2%, vidrio 2.6%, automotriz 2.2%, química 1.8%, cerveza y malta 1.7%, cemento 1.3%, fertilizantes 0.2%. Por otra parte, la petroquímica de Pemex, minería, aguas envasadas y construcción se han mantenido constantes. Las ramas que incrementaron su intensidad energética son tabaco 1% y hule 0.7% (Secretaría de Energía, 2004).

Así también, el balance de energía reporta una disminución en las intensidades por tipo de energético en bagazo de caña 2%, coque (carbón y petróleo) 2.5%, diesel 3%, combustóleo 7% y gas natural 3%. Los energéticos que incrementaron su intensidad fueron el gas licuado de petróleo 5% y la electricidad 2%, en el mismo periodo (Secretaría de Energía, 2004).

Esta variación en el consumo de energía en la mayoría de las ramas industriales puede explicarse por cambios en los procesos de producción, por nuevas tecnologías en los bienes de capital y por el uso de equipos más eficientes que reducen el uso de energía por unidad producida. Además, como resultado de la reacción ante fluctuaciones de los precios de los energéticos, por la competencia, entre otros factores (Secretaría de Energía, 2004).

1.2.1 Indicadores para el desarrollo energético sustentable

La Agenda 21 de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo fue adoptada por las Naciones Unidas en 1992 considerando el concepto de la sustentabilidad, con un significativo interés en el área energética, abarcando los aspectos social, económico, ambiental e institucional.

La XIX sesión especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en 1997 enfatizó la importancia del desarrollo energético sustentable (SED) y seleccionó como temas sectoriales atmósfera-energía, y como sectores económicos la energía y el

transporte, para la IX Sesión de la Comisión sobre Desarrollo Sostenible (CSD), de abril de 2001.

La implementación completa de la Agenda 21, su programa de aplicación y los compromisos de los principios de Río se reafirmó finalmente en la Cumbre del Mundo sobre Desarrollo Sustentable desarrollada en Johannesburgo, Sudáfrica, del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002. En 1995 comenzó el Programa de Trabajo de las Naciones Unidas sobre Indicadores de Desarrollo Sostenible (WPISD), que comprende algunos indicadores de contenido energético. Se incluyeron en esto la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD); EUROSTAT, que ha trabajado en los indicadores medioambientales, y la División de Desarrollo Sostenible del Departamento Económico y de Asuntos Sociales de las Naciones Unidas.

Respondiendo a los objetivos de la Agenda 21, las actividades de trabajo de varias instituciones internacionales se resumen a continuación:

- Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA): Creó el proyecto Desarrollo de Indicadores para el Desarrollo Energético Sostenible (ISED). Forma parte del programa de trabajo del desarrollo energético sostenible y tiene como principales objetivos brindar los indicadores generales que deben ser desarrollados por el Programa de Trabajo de las Naciones Unidas sobre Indicadores de Desarrollo Sostenible. Desarrolló el modelo de indicadores energía-emisiones.
- Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE): Han sido iniciadores en el área de indicadores ambientales, y desarrollaron un grupo de cincuenta indicadores y el modelo presión-condición-respuesta para categorizar indicadores ambientales. En 1998 comenzó un proyecto relacionado con el desarrollo sustentable.
- Naciones Unidas: La Comisión sobre Desarrollo Sostenible desarrolló una lista de 134 indicadores, empleando el término dirección de fuerzas (DF) en lugar de presión, y abarca el impacto de la actividad humana, evaluado por veintidós países. En acuerdo con la Agencia Internacional de Energía Atómica, la ONU desarrolló siete indicadores para problemas ambientales relacionados con la radioactividad. En 1998 se identificaron cuarenta y tres indicadores y un núcleo provisional de diecisiete para medir modelos de producción y consumo.
- Unión Europea: La Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT) y la Agencia Europea de Medioambiente (EEA) han desarrollado indicadores ambientales y colaboran para desarrollar un juego de indicadores de eficiencia energética.

El área de prioridad futura del trabajo de los indicadores para el desarrollo energético sostenible está en la implementación de sistemas de datos reales y de alta calidad. Considerando la gran cantidad de establecimientos industriales en el Estado de México y la necesidad de buscar alternativas energéticas, el presente trabajo se enfoca al

establecimiento de Indicadores Energéticos como una herramienta para evaluar las emisiones de contaminantes en esta zona y evaluar escenarios de desarrollo energético del país.

1.3 Reconversión energética

De acuerdo con la División de Estadística de las Naciones Unidas 1992, la cuota de consumo de combustibles fósiles en el mundo industrializado ha descendido a menos del 50 por ciento del total mundial. Sin embargo, el consumo en los países en vías de desarrollo se ha multiplicado por 4 durante los últimos 30 años y unas 2.4 veces en las antiguas economías planificadas, entre las que se encuentra nuestro país.

Los combustibles fósiles siguen siendo la principal fuente de energía del mundo. Los combustibles tradicionales como la leña y el estiércol siguen desempeñando un papel importante para algunos países en vías de desarrollo como la India y China; mientras que las energías renovables como la solar o la eólica están empezando a destacar en el conjunto de energías de países como los Estados Unidos. Las energías renovables incluyen la hidroeléctrica, la geotérmica y la eólica. Los combustibles tradicionales incluyen bagazo, leña y desechos vegetales. Los combustibles fósiles se refieren al carbón, petróleo, gas natural y a una pequeña cantidad de otros combustibles.

Sin embargo entre las estrategias para la reducción de contaminantes atmosféricos del PROAIRE 2001-2010, se encuentra la sustitución de combustibles de alto contenido de azufre y reconversión tecnológica. Los registros de las autoridades ambientales de la ZMVM, establecen que existen más de 300 empresas que consumen diesel, gasóleo y combustóleo como energéticos, que generan emisiones altamente contaminantes al aire. De continuar la tendencia en el consumo de estos energéticos, la emisión de contaminantes crecería en un 65%, al igual que un incremento en el total de emisiones, considerando las proyecciones al 2010, como se puede observar en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Proyección de emisiones al 2010(Ton/año) por la combustión de combustibles fósiles en la industria de la ZMVM.

Año	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
1998	12,442	26,988	3,094
2005	16,802	35,891	4,170
2010	20,824	44,022	5,162

Fuente: PROAIRE 2001-2010

Asimismo, diversos organismos ambientalistas han presentado estudios que muestran que la sustitución de los combustibles por gas natural tendrá efectos benéficos respecto a la calidad del aire; ya que su combustión es más eficiente y se reducen las emisiones de

NO_x, HC, SO₂ y PM₁₀. (Gómez, 2000). En el PROAIRE 2002-2010 se estimó que para el año 2010, con la reconversión al uso del gas natural, anualmente se reducirán 1,015 toneladas de NO_x, 4,190 toneladas de SO₂ y 8 toneladas de PM₁₀ (CAM GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002).

Para abordar de manera más certera el problema del control de la contaminación del aire en la ZMVM (entre la que se encuentra los 18 municipios conurbados del EdoMex), el PROAIRE 2002-2010 recomienda definir y establecer indicadores consistentes que permitan la comparación de las políticas aplicadas. Los indicadores deben reflejar los resultados de diferentes combinaciones de opciones y medidas que además incorporen las interacciones de diversas actividades dentro de diferentes sistemas inmersos en el problema ambiental.

Finalmente el PROAIRE establece que se requiere más detalle de las fuentes puntuales, tanto en sus procesos de combustión, transformación de materias primas y su almacenamiento, así como en el de productos. Las autoridades ambientales consideran imperante realizar los estudios necesarios para cubrir éstos vacíos en la información, cubriendo los rubros más relevantes por su magnitud, como es el objeto del presente trabajo cubriendo Indicadores Energéticos.

Capítulo 2

Instrumentos de gestión e indicadores ambientales atmosféricos de la ZMVM.

2.1 Instrumentos de control y prevención

Ante el escenario de la problemática atmosférica de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (descrita en el Capítulo 1 de este trabajo), las autoridades del Distrito Federal, del Estado de México y del Gobierno Federal han desarrollado instrumentos de gestión ambiental, así como programas para prevenir y controlar la contaminación generada en el Valle de México. Dentro de estos programas se encuentra el establecer indicadores de calidad del aire (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002 y Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2001).

A partir de 1986 se inicia el registro sistemático de los niveles de contaminación, con la instalación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico. Las 21 Acciones para Reducir la Contaminación del Aire y las 100 Medidas Necesarias puestas en marcha en 1986 y 1987, respectivamente, dieron origen a esfuerzos importantes para disminuir la contaminación del aire. Entre estos esfuerzos se destacaron el inicio de la sustitución de combustóleo con alto contenido de azufre por gas natural en las termoeléctricas y la reducción del contenido de plomo en la gasolina. Surgió el Programa Un Día sin Auto, una iniciativa voluntaria que más tarde se transformaría en el Programa Hoy No Circula en forma obligatoria. (CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002).

Como medida de control, la Comisión Nacional de Ecología desarrolló el Programa para Contingencias Ambientales en 1985. Este programa ha sufrido modificaciones desde entonces de acuerdo a las necesidades planteadas a las autoridades ambientales de los tres ámbitos de gobierno. En el caso de los municipios conurbados del Estado de México, se rigen a través del *“Acuerdo por el que se emite el Programa para Contingencias Ambientales de los Municipios Conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México”*, publicado el 30 de octubre de 1998 en la Gaceta del Gobierno del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 1998, 1999 y 2000).

La activación y desactivación de la contingencia ambiental por O₃ y PM₁₀ o la combinación de éstos, tiene lugar en toda la ZMVM cuando en cualquiera de las zonas que la conforman se registren los valores contenidos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Fases y niveles de activación y desactivación del Programa de Contingencias Ambientales de la ZMVM.

Fase	Contingencia por:	Activación (IMECA)	Desactivación (IMECA)
Precontingencia	O ₃	niveles entre 200 y 240	niveles menores a 180
	PM ₁₀	niveles entre 160 y 175	niveles menores a 150
Fase I	O ₃	niveles mayores a 240	niveles menores a 180
	PM ₁₀	niveles mayores a 175	niveles menores a 150
	O ₃ y PM ₁₀ (Combinada)	que se alcancen de manera simultánea niveles mayores a 225 de O ₃ y mayores a 125 de PM ₁₀	niveles de O ₃ menores a 180
Fase II	O ₃	niveles mayores a 300	niveles menores a 180
	PM ₁₀	niveles mayores a 250	niveles menores a 150

Fuente: Gobierno del Estado de México, 1999

La mecánica operativa del Programa para Contingencias Ambientales se realiza con base en el análisis de los datos registrados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, dependiente de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, el Secretariado Técnico de la Comisión Ambiental Metropolitana declarará la contingencia ambiental en la fase que corresponda, así como la aplicación y terminación de las medidas procedentes. (Gobierno del Estado de México, 2000)

Otro programa de control de emisiones, aplicado a automóviles es el Programa de Verificación Vehicular. Este se establece en 1990 en conjunto entre el Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México, para prevenir y controlar las emisiones contaminantes provenientes de vehículos automotores en circulación a fin de mejorar la calidad del aire del área metropolitana. (Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, 2005). El objetivo de la verificación vehicular es el de reducir al máximo las emisiones contaminantes de los vehículos automotores en circulación.

Una de las acciones más exitosas fue la instrumentación del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México (PICCA) en octubre de 1990, evolucionando al actual Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE), elaborándose para los periodos 1995-2000 y a la fecha el 2002-2010 (CAM GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002). Los esfuerzos del PICCA se dirigieron a la reducción de las emisiones de plomo, bióxido de azufre, monóxido de carbono,

hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, así como de las partículas generadas por la destrucción de bosques, erosión de zonas deforestadas, tiraderos clandestinos y calles sin pavimentar. (Lacy y colaboradores, 2000)

Por otro lado el objetivo del PROAIRE 1995-2000 estuvo enfocado explícitamente a la reducción de las concentraciones pico y promedio de ozono. Para tal fin, y dado que el ozono es un contaminante que se forma en la atmósfera a partir de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, las medidas implementadas fueron dirigidas a la reducción de las emisiones de estos contaminantes (Lacy y colaboradores, 2000).

Con las medidas del PICCA 1990-1994 y del PROAIRE 1995-2000 se lograron mejoras sustanciales en la calidad del aire, reflejándose en las tendencias de reducción de los contaminantes de acuerdo a sus respectivos objetivos. Estas mejoras se pueden observar en indicadores de calidad atmosférica, gráficas y datos históricos. En las Figuras 2.1 a-e, se observa que la concentración del plomo (a) y bióxido de azufre (b) se mantuvieron por debajo de la norma y que el monóxido de carbono (c) solo rebasó la norma en un porcentaje reducido de días. Se observa la reducción de las emisiones del bióxido de nitrógeno (d) y que los niveles de ozono (e) dejaron de aumentar en contraste con la tendencia que mantenían a principios de la década de los noventa.

En la Figura 2.1 a-e, se observa una considerable reducción de los contaminantes en la pasada década, lo que es atribuido los diversos programas y acciones que las autoridades establecieron en el Valle. Sin embargo, dadas las características, crecimiento y dinámica de la economía y población de la ZMVM, se requiere de un constante monitoreo y planes de acción para continuar con la disminución de esta problemática.

La experiencia del PICCA 1990-1994 y del PROAIRE 1995-2000 se refleja en el desarrollo PROAIRE 2002-2010, que además incorpora los resultados de las investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos nacionales e internacionales³ que han trabajado sobre el problema de la contaminación del aire de la ZMVM. Lo anterior sirvió como base para el diseño de las estrategias y acciones que se proponen para reducir la contaminación atmosférica (CAM GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002).

En las actualizaciones del PROAIRE para la ZMVM se identifican las actividades de origen antropogénico que tienen mayor contribución relativa en la generación de precursores de O₃ y PM₁₀, así como los patrones espaciales y temporales de las concentraciones de estos contaminantes(ver sección 2.2 de este trabajo). Sobre ello, actúa el programa con el objeto de reducir las emisiones contaminantes al menor costo y de la manera más efectiva. (Gobierno del Estado de México, 2000).

³ a) Programa Integral de Contaminación del Aire, Urbana, Regional y Global coordinado por el Dr. Mario Molina y b) Modelo de calidad del aire Fotoquímico a Mesoescala (Multiscale Climate Chemistry Model-MCCM)

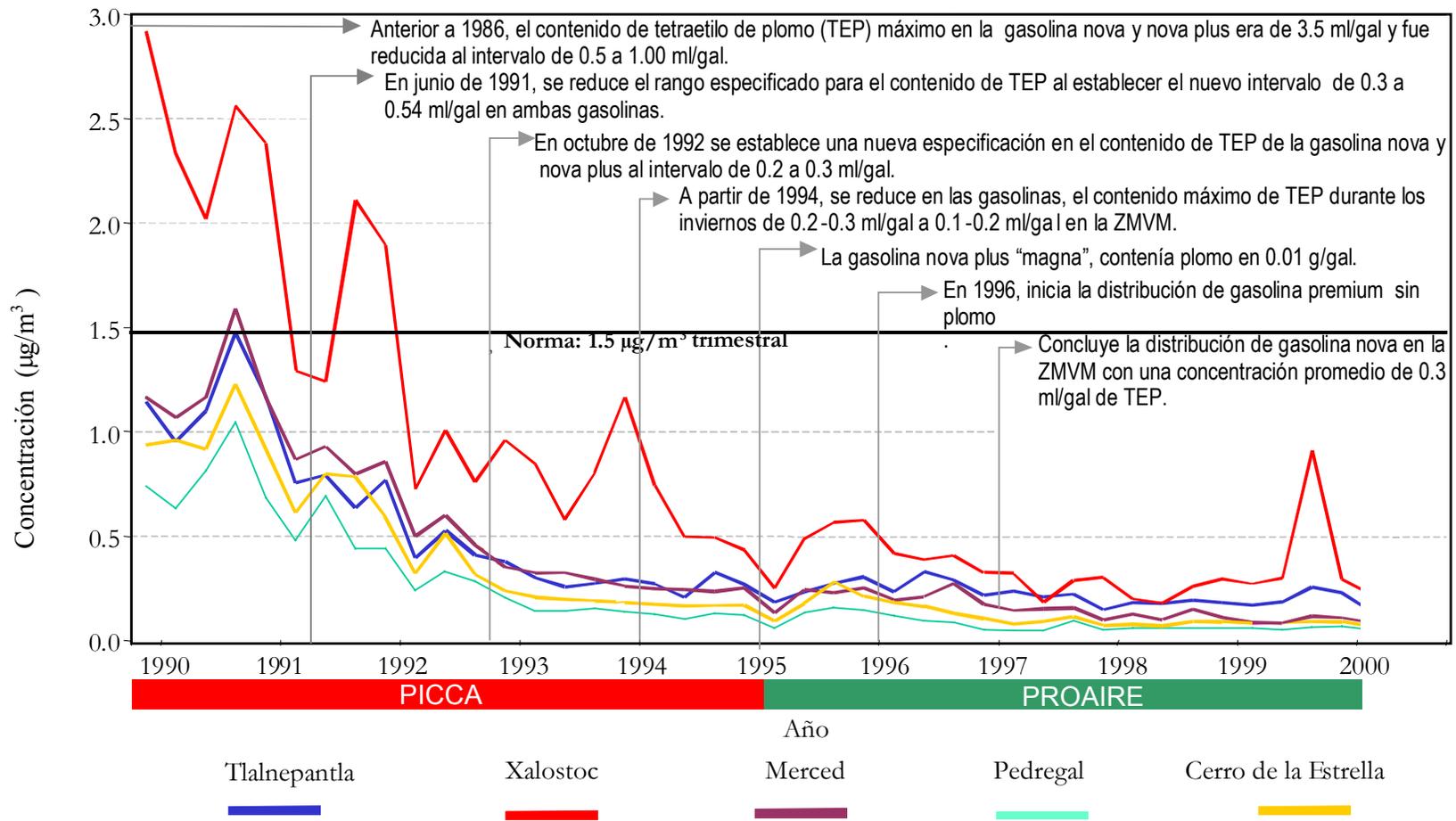


Figura 2.1 (a) Tendencia del monitoreo atmosférico de Pb y su principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).

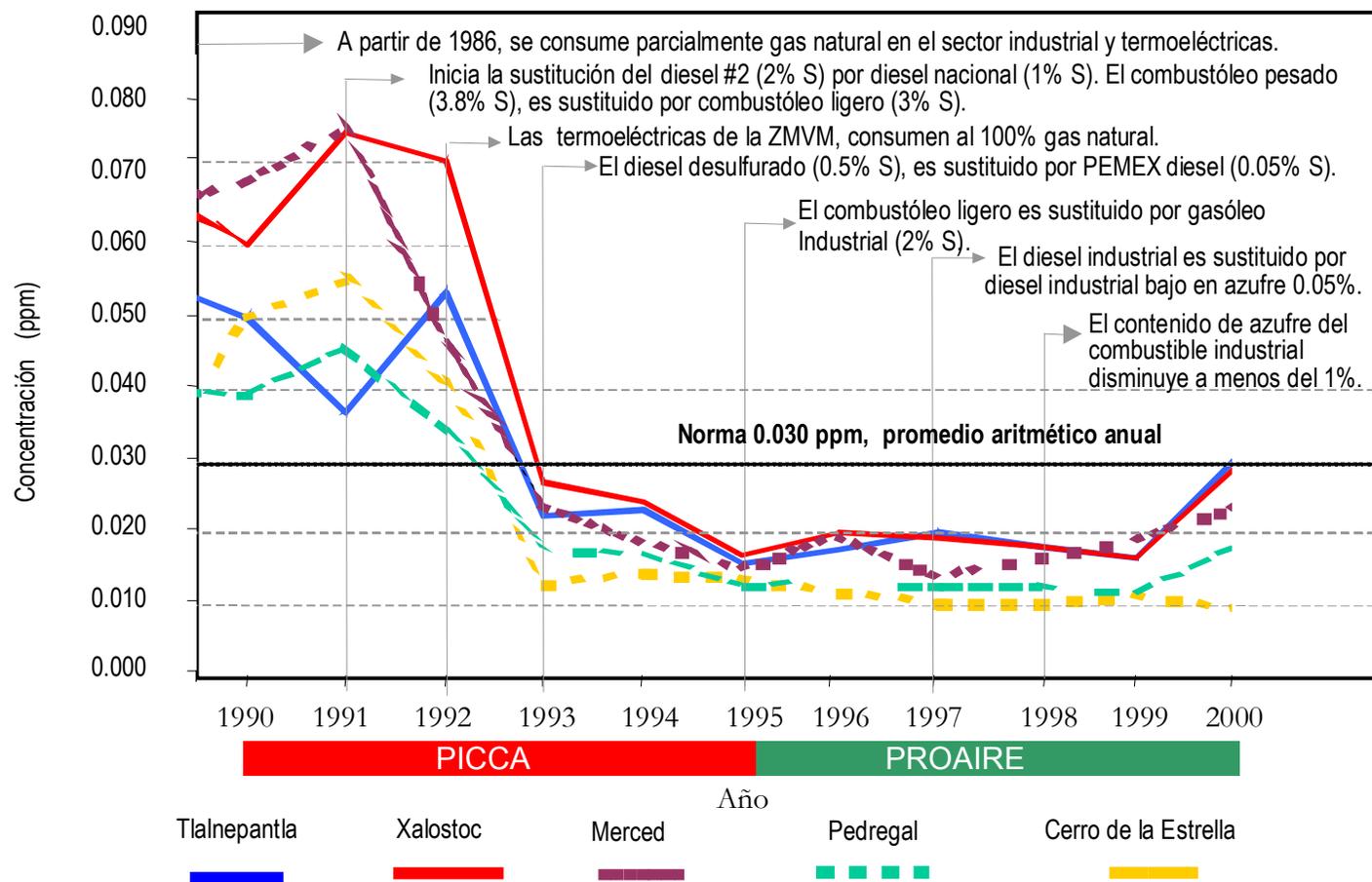


Figura 2.1 (b) Tendencia del monitoreo atmosférico de SO₂ y sus principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).

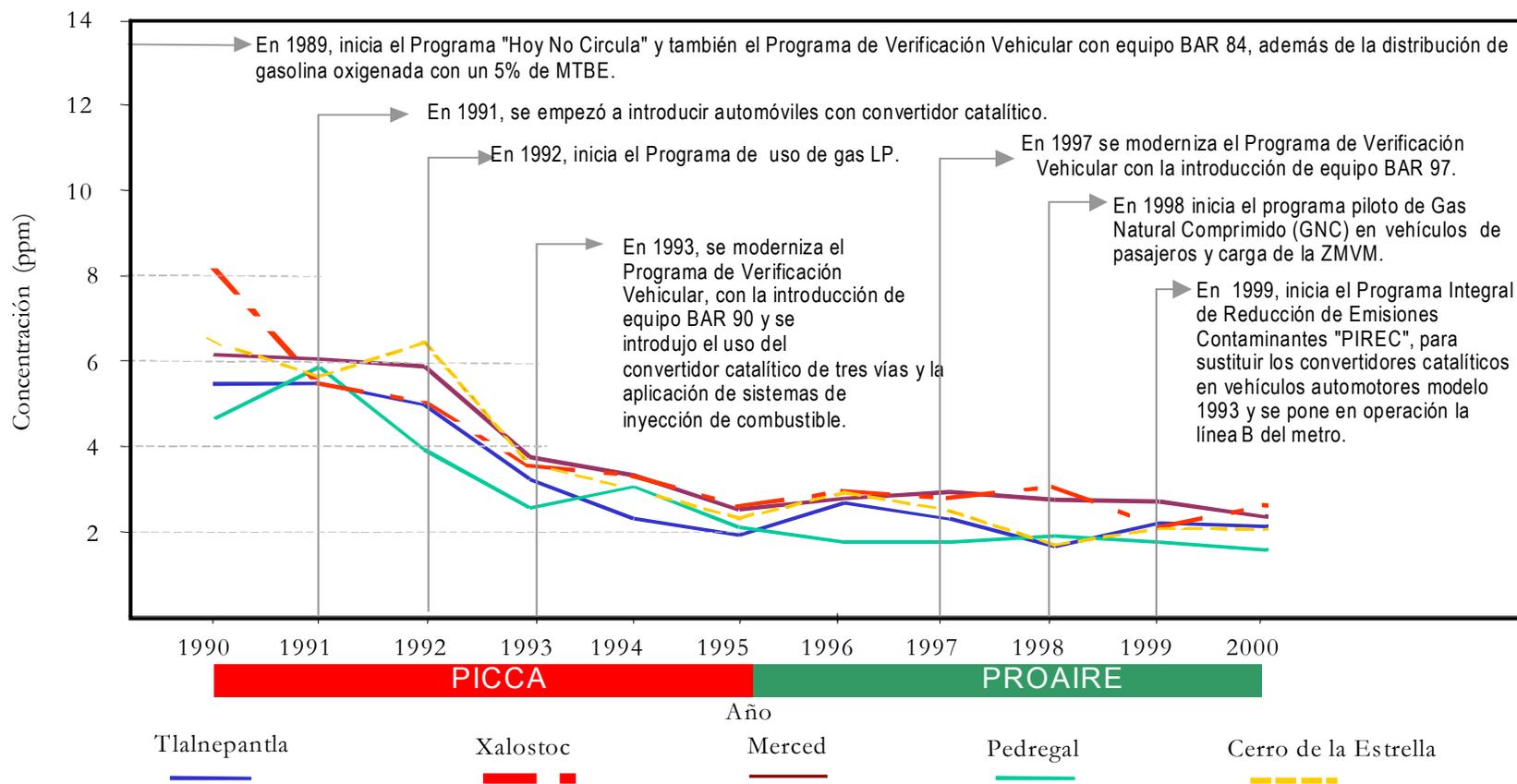
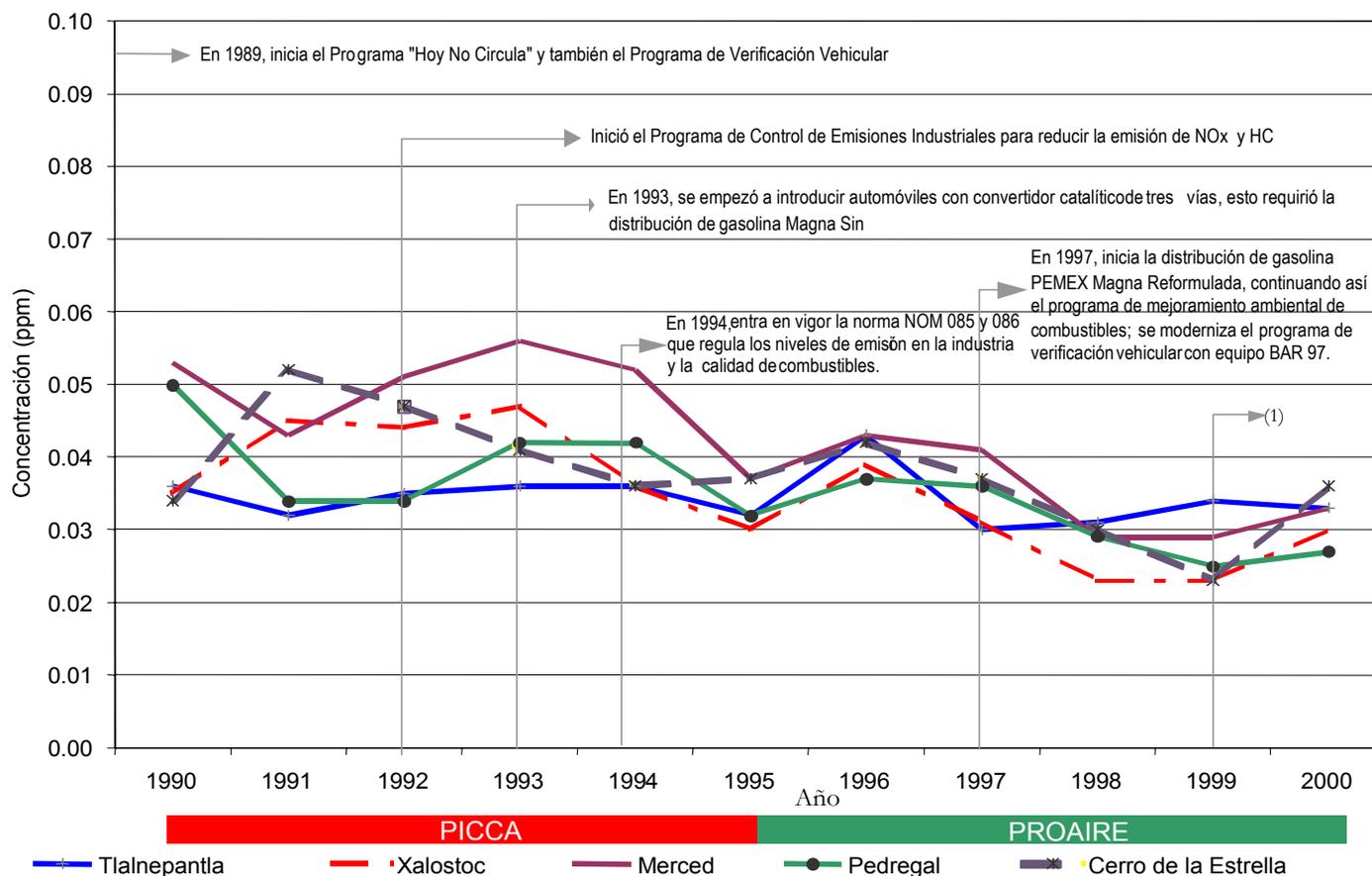


Figura 2.1 (c) Tendencia del monitoreo atmosférico de CO y su principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).



(1) En 1999, inicia el Programa PIREC, lo cual contribuyó a la reducción de NOx

Figura 2.1 (d) Tendencia del monitoreo atmosférico de NO₂ y sus principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).

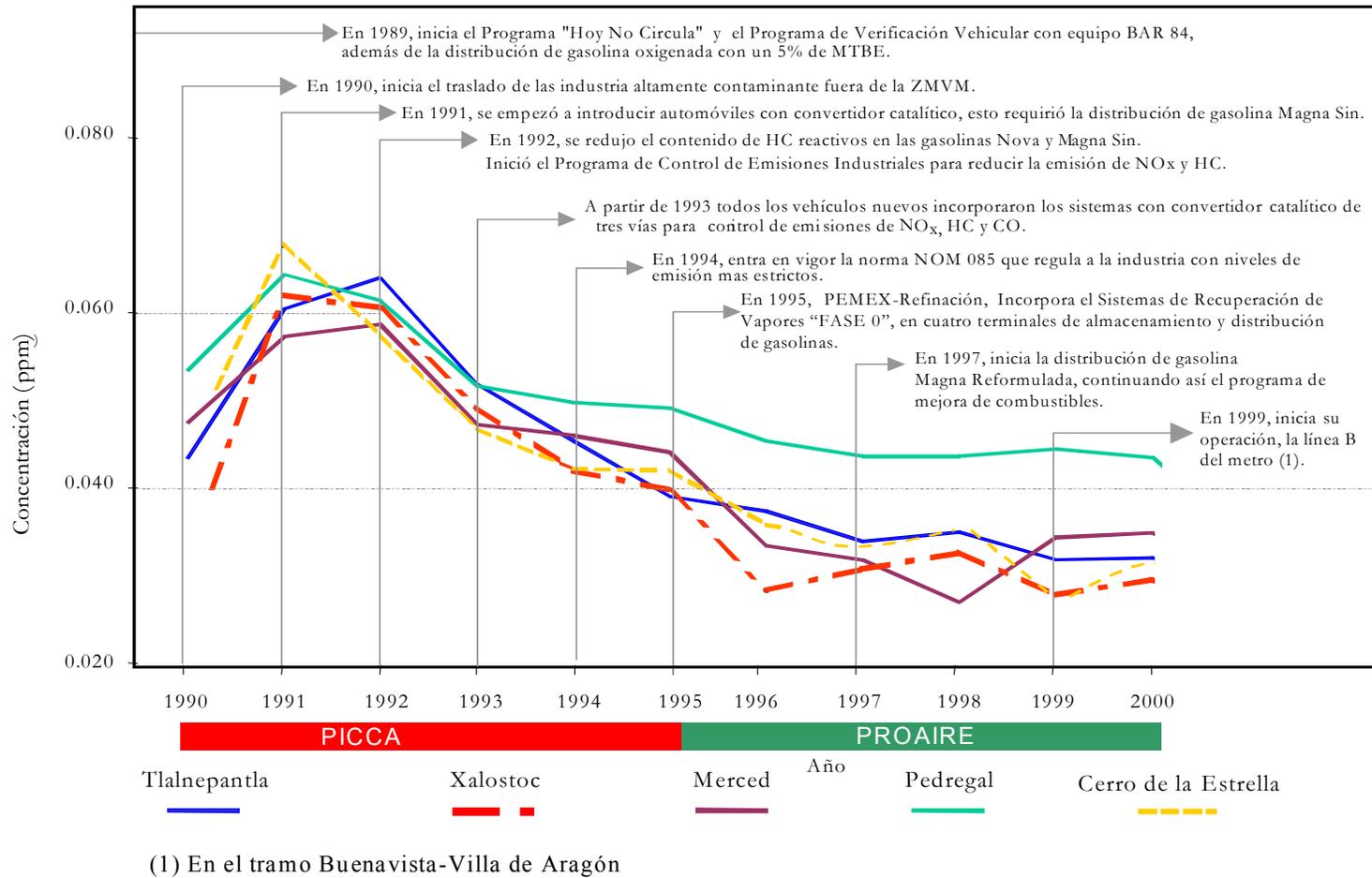


Figura 2.1 (e) Tendencia del monitoreo atmosférico de O₃ y su principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).

2.2. Inventarios de emisiones

La planeación para controlar la problemática ambiental del aire de la ZMVM, exige contar con datos detallados de tipo, cantidad de emisión, temporalidad, dinámica, fuentes y espacialidad de los contaminantes atmosféricos. Estos datos son reunidos en los inventarios de emisiones a la atmósfera; herramientas de gestión que las autoridades locales y federales desarrollan bianualmente.

Los inventarios de emisiones permiten evaluar la efectividad de las estrategias de reducción de los contaminantes. A través del cálculo de inventarios (Asociación de Gobernadores del Oeste, 1997) se conocen las cantidades emitidas y la contribución de cada una de las fuentes contaminantes. Los indicadores que se desarrollan actualmente con la información de esta herramienta son los volúmenes de emisión de PM₁₀, SO₂, NO_x, HC y CO. De acuerdo con las recomendaciones del PROAIRE será necesario incorporar otros compuestos como el amoníaco, las partículas PM_{2.5} y elaborar un inventario de compuestos tóxicos, así como actualizar el inventario de gases de efecto invernadero (CAM GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002).

La principal fuente de información para el desarrollo de los inventarios es la Cédula de Operación Anual (COA), que es el formato de gestión de la información establecida de acuerdo a las necesidades y consideraciones legales del gobierno del Estado de México, al Distrito Federal y las del Gobierno Federal.⁴ Las emisiones de contaminantes generados en la ZMVM se cuantifican indirectamente, utilizando la información de la COA, de manera desagregada por tipo de fuente, categoría o subsector industrial. También se considera la variación temporal y espacial de las emisiones contaminantes (Asociación de Gobernadores del Oeste, 1997). Asimismo, con estos inventarios, se pueden clasificar de forma más precisa a los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante, e identificar a las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control. Con el inventario se puede, además, realizar análisis de costo-efectividad de las medidas de control y evaluar los programas de mejoramiento de la calidad del aire vigentes en la ZMVM (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2002).

La información de los inventarios de emisiones también sirve para el desarrollo de proyectos de investigación como tendencias de emisiones, detección de actividades antropogénicas y su contribución de emisiones, establecimientos de programas específicos por contaminante o actividades antropogénicas, entre otros. Sin embargo para

⁴ Para mayor información de la COA Federal en la Dirección General de Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes-SEMARNAT; de la COA del Estado de México, en la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación -Secretaría de Ecología, y en el Distrito Federal en la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del D.F.

que el resultado de las investigaciones sea confiable, el inventario requiere del establecimiento de un control de calidad de los datos (Montufar, 2004).

Existen diversos métodos de estimación de emisiones, entre los más comunes para el desarrollo de inventarios de emisiones se encuentran la medición directa, factores de emisión, balance de materiales, cálculo de ingeniería y modelos matemáticos. Estos son aplicados de acuerdo al tipo y escala de la fuente emisora, precisión y/o exactitud de la estimación, información disponible y factor económico (SEMARNAT, 2001). En el Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México desarrollaron otro método de estimación de emisiones a través de balance de energía, en la cual se calcula los consumos totales de los diferentes combustibles para un determinada temporalidad (para este caso el tiempo base del inventario) y de acuerdo con el poder calorífico desprendido se estiman las emisiones (Montufar, 2004).

2.3 Indicadores de la calidad del aire

Como resultados de los programas se han desarrollado indicadores atmosféricos que describen el comportamiento histórico, la situación actual y las perspectivas de la calidad del aire en la ZMVM. Los indicadores establecidos en esta sección son los considerados en el PROAIRE 2002-2010. Los Indicadores de la Calidad del Aire se calculan a partir de datos de concentración registrados⁵ en las 32 estaciones de monitoreo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, 15 de la Red Meteorológica (REDMET), 19 de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) y 16 estaciones de la Red de Depósito Atmosférico (REDDA). El análisis de esta información se complementa con información de parámetros meteorológicos para la elaboración del pronóstico de la calidad del aire y su posterior utilización en modelos de dispersión de contaminantes y así se puede analizar el desplazamiento de los contaminantes a través del tiempo. Los tipos de indicadores del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) se presentan en la Tabla 2.2:

⁵ De acuerdo con el Anexo 2 del Proaire 2002-2010, para el desarrollo de los indicadores de la calidad del aire se consideró la información de las estaciones de monitoreo con mejor desempeño histórico, es decir que han operado continuamente en los últimos 10 años y tienen al menos el 75% de datos anuales.

Tabla 2.2 Indicadores de la calidad del aire de la ZMVM basados en concentración del contaminante.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DATO	PARÁMETRO	
Máximo maximorum	Señala los eventos extremos. Es sensible a cualquier suceso extraordinario (incendios, desfuegos industriales, eventos meteorológicos, etc).	Máximo diario Colecta de 24 horas	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀	
TOP 30	Señala los eventos extremos recurrentes, mitiga la influencia de sucesos extraordinarios	Máximo diario	O ₃	
Percentil	Al ordenar una población de datos de menor a mayor, un percentil señala la concentración que acumula un determinado porcentaje del total. Se representa de la siguiente forma.	Promedio horario Máximo diario Promedio diario Colecta de 24 horas	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀	
	Percentil 90			Concentración que acumula 90% de los registros. Caracteriza el comportamiento de los registros máximos de un contaminante, evita la influencia de eventos extraordinarios.
	Percentil 75			Concentración que acumula el 75% de los registros. Caracteriza el comportamiento de registros cotidianos de un contaminante, al evitar los valores altos.
	Percentil 50 (mediana)			Concentración que divide en dos al total de registros. Caracteriza el comportamiento de registros cotidianos, evidencia aumento generales.
Promedio	Permite evaluar el cumplimiento de normas de protección a la salud y el comportamiento anual de algunos parámetros. Es sensible a valores extremos.	Promedio diario Colecta de 24 horas Colecta semanal	SO ₂ , PST, PM ₁₀ , pH, NO ₃ , SO ₄	
Promedio trimestral	Permite evaluar el cumplimiento de la norma de protección a la salud de plomo.	Colecta de 24 horas	Pb	
Promedio superior a un límite	Indica indirectamente un nivel de riesgo por exposición a concentraciones superiores al valor de una norma de protección a la salud.	Promedio horario Colecta de 24 horas	O ₃ , PM ₁₀	
Intervalos	Indica la frecuencia de valores de un contaminante en intervalos específicos, algunos se asocian a los límites permisibles definidos en las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental.	Promedio horario Promedio móvil Colecta de 24 horas Colecta semanal	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀ , pH, NO ₃ , SO ₄	
Comportamiento Típico diario	Muestra el comportamiento de un contaminante en el transcurso del día. Permite asociar con la intensidad de las actividades antropogénicas	Promedio horario	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂	

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm>

Los indicadores que se describen en la Tabla 2.2 se explican a continuación. Asimismo, la Figura 2.2 permite explicar el tipo de información que proveen estos indicadores.

- **Percentil.** Este indicador señala un valor de concentración, debajo del cual se encuentra un determinado porcentaje de datos ordenados por su magnitud. Por ejemplo, el valor del percentil 75 señala la concentración a partir de la cual se encuentran tres cuartas partes del total, en tanto que el percentil 25 señala a la concentración a partir de la cual se encuentra una cuarta parte del total.
- **Mediana.** Este indicador divide el conjunto de concentraciones ordenadas por su magnitud en dos grupos con igual número de datos. Esto significa que en la mitad de los días del año, las concentraciones están por debajo del valor de este indicador y es equivalente al percentil 50.
- **Rango Intercuartil.** Este indicador representa la diferencia entre el percentil 75 y el percentil 25, por lo que concentra el 50% de los datos alrededor de la mediana. Permite visualizar la variabilidad de la información, evitando la influencia de los casos extremos.
- **Outlier o dato atípico.** Dada la variación de un fenómeno, la mayoría de las observaciones se concentran alrededor de un punto (media o mediana), aquellos que se alejan considerablemente de éste, se consideran como datos atípicos, es decir datos que no ocurren frecuentemente y se alejan del resto.

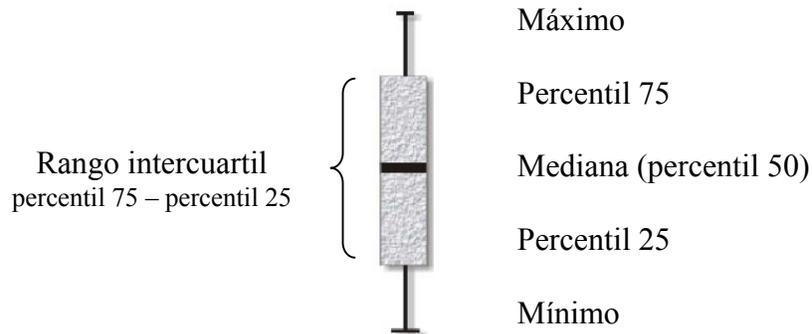


Figura. 2.2 Indicadores ambientales desarrollados para calidad del aire

Con este tipo de información, así como con el uso de herramientas estadísticas se establecen indicadores de “**comportamiento diario**” y de “**evaluación de tendencia regional**”

Indicadores del comportamiento diario. Este indicador permite observar el comportamiento promedio de un contaminante en un día típico e identificar el intervalo de horas en que se presentan sus niveles altos. Este indicador se obtiene calculando el promedio de las concentraciones de cada hora del día a lo largo de un año.

En la Figura 2.3 se ejemplifica el uso de este tipo de indicador para el comportamiento que han tenido los NOx en la ZMVM, a partir de 1990. De esta forma, al comparar el análisis de este indicador con los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana

NOM-025-SSA1-1993 (0.21 ppm de NO₂ promedio de una hora), se excede en alrededor de un 10% de días del año, las concentraciones máximas han tendido a disminuir (entre el 26 y 33%), excepto en la zona noroeste donde se localiza una alta concentración de industrias y grandes flujos vehiculares.

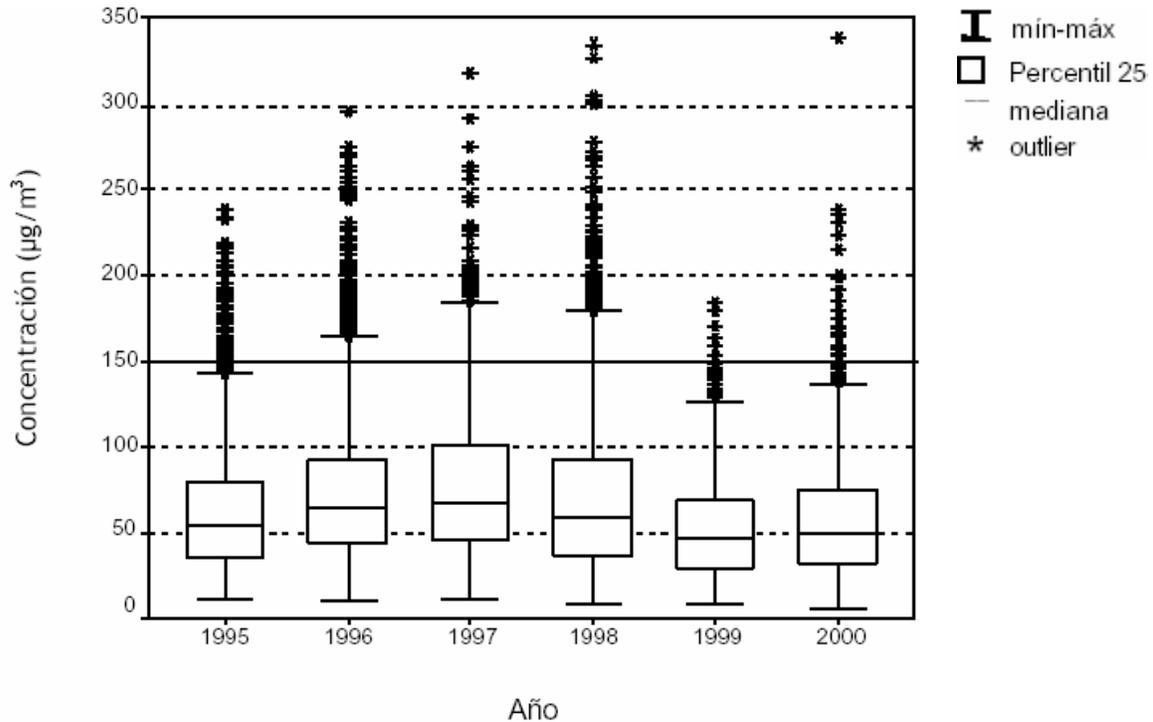


Figura. 2.3 Comportamiento de las concentraciones máximas diarias de NO₂ en la ZMVM en 5 estaciones de monitoreo (1990-2000).

Evaluación de tendencia regional. Para establecer los indicadores de tendencias de cada contaminante se empleó el percentil 95 de las concentraciones máximas diarias de cada mes para el período de 1990 a 2000. El uso de este parámetro estadístico evita la influencia del 5% de los datos extremos del mes, que pueden estar vinculados a fenómenos locales de emisión.

En la Figura 2.4 se ilustra la tendencia histórica de los PM-10. De acuerdo al análisis los niveles más altos de este contaminante se han presentado por lo general en la zona noreste de la ZMVM. También se observa que el límite establecido por la norma se ha excedido en más de un 50% de las mediciones registradas en la estación Xalostoc.

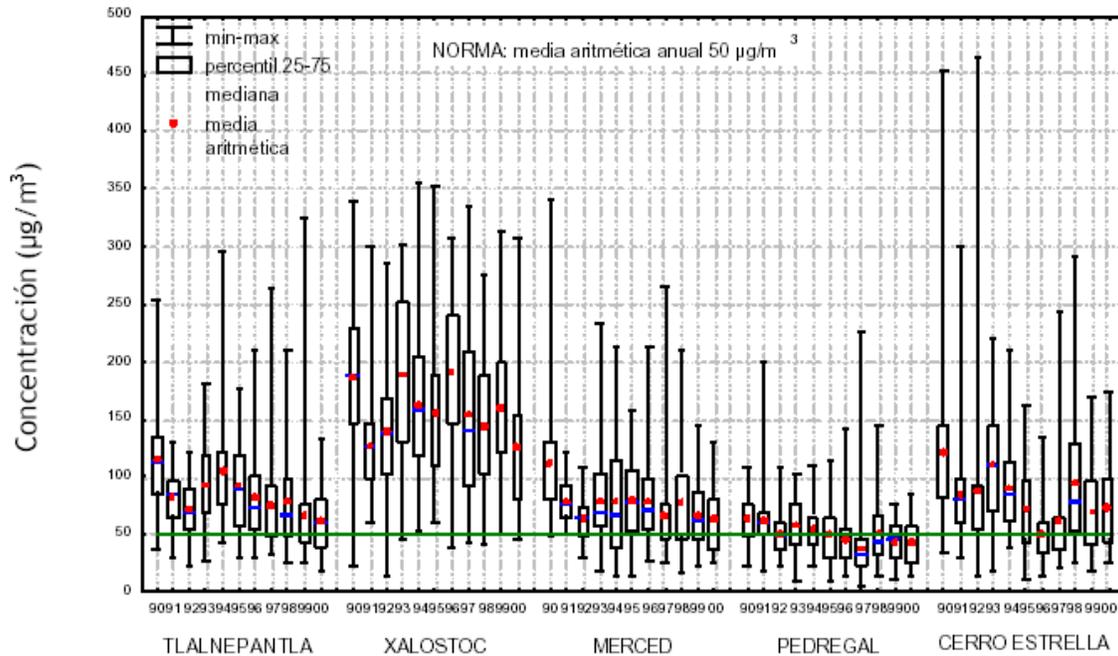


Figura. 2.4 Tendencia histórica de las PM-10 en la ZMVM (1990-2000).

Para evaluar la existencia de tendencia de los 5 contaminantes criterio que se miden en la RAMA, se instrumentó la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall para tendencia en presencia de temporalidad. Mediante esta prueba se identifica el decremento o incremento de la tendencia con base en la tasa instantánea de cambio, es decir la pendiente de una recta, así como un porcentaje relacionado al cambio en el periodo de evaluación. Utilizando esta herramienta estadística se ha registrado una ligera disminución de las concentraciones de PM₁₀, entre los años de 1995 al 2000 en las estaciones representativas de la zona noroeste (Tlalnepantla) y noreste (Xalostoc). En las estaciones ubicadas en el centro y el sur de la ZMVM, la tendencia no es clara todavía, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para PM₁₀ en la ZMVM de 1995 a 2000.

Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES*	MER*	PED*	TLA*	XAL*
Presenta tendencia	NO	NO	NO	SI	SI
Tasa instantánea de cambio ¹	-	-	-	-9.225	-12.667
Concentración estimada al inicio y al final del periodo (µg/m ³) ²	-	-	-	121 76	165 102
Porcentaje de disminución del periodo 1995-2000	-	-	-	38%	38%

Notas:

1) La pendiente se estima por el método de Sen's y a partir de esta se obtienen las concentraciones estimadas de cada periodo de tiempo seleccionado.

2) Es importante destacar que en este análisis no se aprecia una influencia de los eventos de 1998, ya que el uso del percentil 95 evita la influencia de las concentraciones extremas que se registraron en ese año.

* Cerro de la Estrella (CES), Merced (MER), Pedregal (PED), Tlalnepantla (TLA) y Xalostoc (XAL).

En el PROAIRE 2002-2010, se establece el indicador TOP-30 (promedio de las 30 concentraciones máximas diarias durante el año) para establecer la tendencia del O₃, debido a la problemática que representa actualmente este contaminante. En la Figura 2.5 se presenta la tendencia del O₃ calculada con este indicador, en la que presenta una disminución generalizada desde 1995. De esta forma se detecta que los valores de este indicador, en las estaciones Pedregal (PED) y Plateros (PLA) duplican al valor de la norma de salud de 0.11 ppm, por lo que se caracteriza a esta región como la de mayor riesgo.

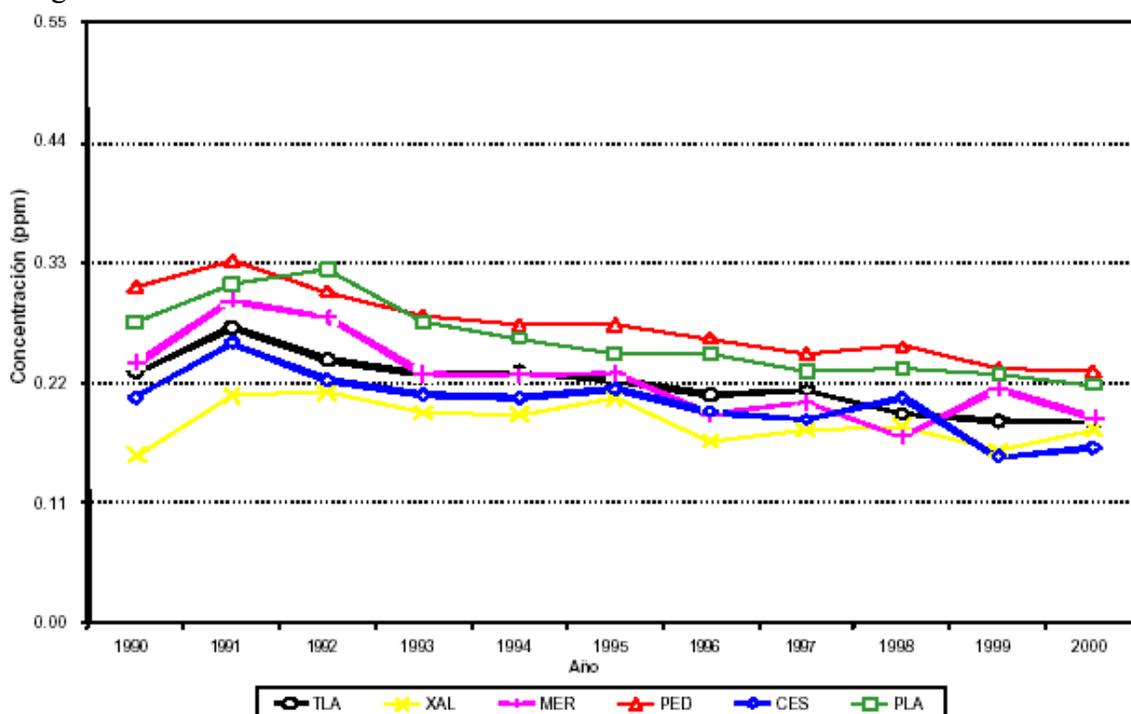


Figura. 2.5 Promedio anual 1990-2000 de los primeros 30 máximos diarios del O₃ por año. Fuente: PROAIRE 2002-2010 (Original en colores).

Como se puede observar los indicadores obtenidos a partir de instrumentos de gestión y programas de prevención de la contaminación en la ZMVM, son indicadores ambientales que reflejan la calidad del aire. Sin embargo es importante resaltar que la aportación de las emisiones por el sector industrial es probablemente más importante para SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, CO y NO_x. Las fuentes fijas es el segundo sector en relación a la contribución de estas emisiones. (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2002)

Considerando que el sector industrial ocupa en promedio el 35%⁶ de la energía que se consume en la ZMVM (CAM GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002) el establecimiento de indicadores que consideren el consumo energético y su contribución a las emisiones aportará un parámetro de ayuda y fortalecimiento a la toma de decisiones en los temas de salud, regulación, crecimiento, población y proyectos a futuro.

⁶ Dato elaborado con información de PEMEX Gas y Petroquímica Básica, PEMEX Refinación y Secretaría de Energía, según Tabla 2.9 Consumo energético porcentual por sector ZMVM 1990-2000, PROAIRE 2002-2010.

La metodología aquí propuesta está basada en los datos del inventario del 2000 para la ZMVM, considerando la información presentada por los responsables de los establecimientos industriales dentro de la Cédula de Operación Anual. Los datos han sido procesados bajo controles de calidad para el desarrollo del inventario 2000, así como siguiendo la metodología desarrollada por el Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México (Montufar, 2004).

Capítulo 3

Desarrollo de Indicadores Energéticos

En el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) 2001-2010 (PROAIRE 2002-2010) se plantea la búsqueda de soluciones conjuntas, considerando los tres niveles de gobierno, a la problemática ambiental del Valle de México. Entre las estrategias vinculadas con la reducción de emisiones en la industria se encuentra la modernización tecnológica y control de emisiones. En esta estrategia se resalta como medida de acción la *“reconversión energética en la industria”*, ya que de continuar con la tendencia en el consumo de energéticos actuales en la ZMVM, las emisiones atmosféricas crecerían en un 65% considerando las proyecciones al 2010. En el mismo PROAIRE se establece desarrollar indicadores como un procedimiento formal y reconocido a escala internacional para evaluar los avances sobre la contaminación del aire.

En este capítulo se presenta la metodología propuesta para la conformación de Indicadores Energéticos en el uso los combustibles. La metodología para Indicadores Energéticos para el sector industrial del Estado de México presentada en este trabajo refleja la contribución de la contaminación atmosférica. Para esto se analiza la información técnica general y emisiones atmosféricas de los establecimientos industriales, proporcionada a las autoridades de la Secretaría de Ecología del Estado de México, a través de la Cédula de Operación Anual (COA). En el análisis se consideró la metodología de control de calidad de la información desarrollada en el Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México (Montufar, 2004).

3.1 Metodología para Indicadores Energéticos

La Cédula de Operación Anual (COA) es una herramienta de gestión ambiental. Los responsables de los establecimientos industriales tienen la obligación de presentar a las autoridades ambientales a través de la COA, entre otros datos, las emisiones

contaminantes generadas en un periodo de actividad. La información y temporalidad de presentación, varía de acuerdo a lo establecido por las autoridades de su competencia.

Las autoridades del Estado de México, del Distrito Federal y de la Federación, han convenido en homogenizar el instructivo, información y temporalidad de la COA. De tal forma que los datos de producción y contaminación atmosférica sean comparables entre establecimientos estatales y federales ubicadas en el Estado de México. Así, la COA es la fuente de información para el desarrollo de los Inventarios de Emisiones de la ZMVM. Considerando lo anterior la base de datos de los Inventarios proporciona la información para el establecimiento de la metodología de desarrollo de los Indicadores Energéticos. En la Figura 3.1 se muestra la metodología general para el establecimiento de los indicadores. La base de la metodología es el manejo de los datos para seleccionar los parámetros que serán incluidos en los Indicadores Energéticos, para esto se requiere de un análisis preliminar incluyendo un control de calidad. Los parámetros seleccionados se relacionan con la cantidad de energía consumida por el establecimiento para establecer el indicador de energía y con éste estimar las emisiones de contaminantes. Los pasos a seguir de la metodología se describen a continuación:

1. Revisión de la base del Inventario de Emisiones y selección de la muestra de datos a estudiar. Los datos que se consideran para la metodología fueron obtenidos de la Dirección General de Diagnóstico Ambiental de la Secretaría de Ecología del Estado de México. Los datos son del Inventario del 2000 para los municipios de Naucalpan, Tlanepantla, Cuatitlán, Tultitlán y Ecatepec. Estos municipios contienen el 80% de los establecimientos industriales de los municipios conurbados del Estado de México. (Dirección General de Diagnóstico Ambiental, 2004). Así los resultados reflejarán el porcentaje mayor del sector industrial de esta zona. Por cuestiones de confidencialidad se omiten los nombres y direcciones de los mismos.

2. Identificación, selección y análisis de los datos para los indicadores. Los datos de las COAs que se consideraron fueron obtenidos de las secciones de información técnica general y emisiones atmosféricas. La información fue reportada por establecimiento industrial a las autoridades ambientales. También se consideró los datos depurados para la conformación del Inventario 2000. En la siguiente lista se describen los datos considerados:

- Competencia. Se consideraron los datos tanto de los establecimientos de competencia federal como aquellos de competencia estatal.
 - Sector Industrial. Las autoridades ambientales clasifican las actividades de los establecimientos industriales considerando la Clasificación Mexicana de Actividades Productivas (CMAP). Los datos se desagregan en subsector, rama y actividad industrial.
 - Localización. Por cuestiones de confidencialidad la localización de los establecimientos industriales se dará por municipio. Se considera los datos de los municipios de Naucalpan, Tlanepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec.
-

-
- Fecha de inicio de operaciones. Al no tener los datos específicos de la antigüedad de los equipos de combustión, la fecha de inicio de operaciones se relacionará con la antigüedad de los equipos de manera indirecta.
 - Número equivalente de empleados y de obreros. Son datos que relacionan indirectamente el tamaño del establecimiento industrial.
 - El tiempo de operación de la planta. Esta información relaciona indirectamente el tamaño del establecimiento. El tiempo de operación se indica por horas al día, por semana y anual.
 - Tipo y cantidad de insumos directos e indirectos. La base de datos refleja los 6 principales insumos de acuerdo a la cantidad utilizada de cada establecimiento industrial.
 - Tipo y cantidad de producción. La base de datos refleja los 6 principales productos de acuerdo a la cantidad producida de cada establecimiento industrial.
 - Tipo y cantidad de combustible usado en el establecimiento.
 - Tipo y cantidades de equipos de combustión, así como de quemadores.
 - Cantidades de emisión de partículas menores a 10 micras (PM10), óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos totales (COT), compuestos orgánicos no metánico (COTNM) y metano (CH4).
-

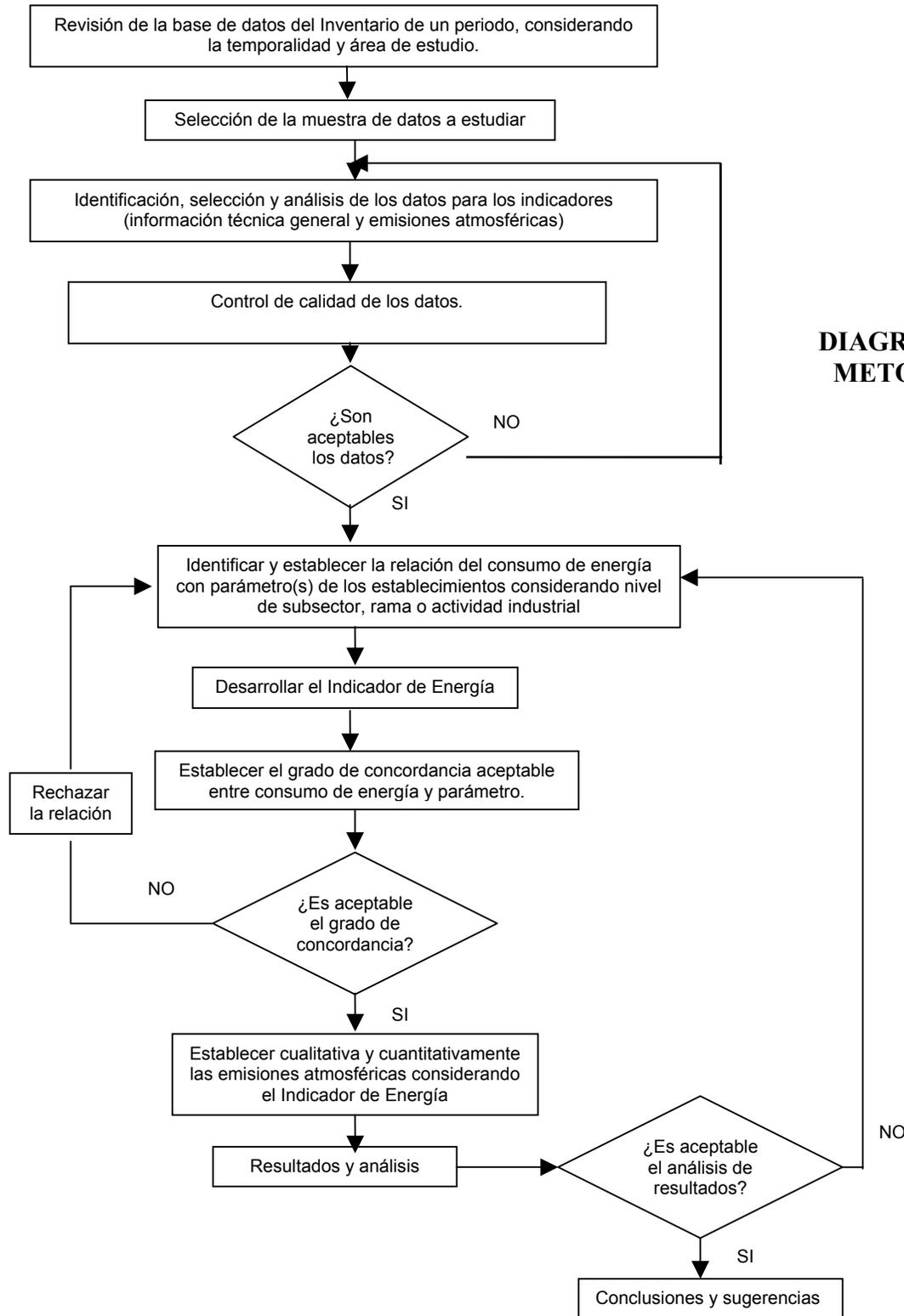


DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA

Figura 3.1 Diagrama de la metodología propuesta para el desarrollo de Indicadores Energéticos.

3. Control de calidad de los datos. Con la finalidad de homogenizar la información y obtener datos confiables, éstos fueron sometidos a la metodología desarrollada en el Tecnológico de Monterrey, campus Estado de México (Montufar, 2004). En el Anexo A se presenta un resumen de la metodología y un caso de estudio para el municipio de Naucalpan. Los resultados de emisiones son analizados y en dado caso que no sean coherentes con sus características de proceso, éstos son confrontados nuevamente con la información relacionada con la producción y energía, hasta que el resultado este dentro de rangos aceptables. Para tal fin se identificarán los datos máximo y mínimo percentil, de la relación cantidad de combustible-emisión, que no serán considerados para eliminar el ruido que pueda afectar a los datos. La información procesada hasta este punto, nos da el panorama y origen de la problemática ambiental por el uso de combustibles utilizados en los procesos industriales en el Estado de México. En este punto también se considera los datos del Balance Nacional de Energía y el Balance de Energía del Estado de México.

4. Establecer la relación del consumo de energía con parámetros de los establecimientos del sector industrial. Para tal fin se grafica el parámetro determinado con el consumo de energía y se identifica la relación matemática, utilizando la metodología de mínimos cuadrados. Cuando existe una alta dispersión, se establece el nivel de subsector, rama o actividad industrial, hasta encontrar la relación en una plataforma estable.

5. Identificar y establecer el grado de concordancia aceptable entre consumo de energía y parámetro, considerando nivel de subsector, rama o actividad industrial. Se sustituyen los valores de los parámetros (valor variable) en la ecuación matemática y se recalcula la cantidad de energía. Se identifica la diferencia entre la energía ajustada y la energía inicial. Se calcula el error de las diferencias.

6. Desarrollar el Indicador de Energía. Se calcula el Indicador de Energía con el consumo de energía y el parámetro relacionado como tiempo de operación, capacidad del equipo, cantidad de materia prima o producción, entre otros, de acuerdo a la ecuación 3.1:

$$I_{E/P_a} = \frac{\sum_i^n \left[\frac{(CC_{xia}) (PC_x) (\rho C_x)}{P_{ia}} \right]}{n_a} \quad (3.1)$$

donde:

I_{E/P_a} = Indicador de energía en relación con el parámetro establecido del nivel de agrupación industrial “a”. [MJ/Unidad del parámetro identificado]

CC_{xia} = Consumo del combustible “x” en el establecimiento “i” del nivel de agrupación industrial “a”. [$m^3/año$]

PC_x = poder calorífico del combustible “x” [MJ/kg]

ρC_x = densidad del combustible “x” [kg/ m³]

P_{ia} = Parámetro identificado a estudiar del establecimiento “i” del nivel de agrupación industrial “a”

x = tipo de combustible

i = establecimiento

a = nivel de agrupación industrial

n = número de establecimientos del nivel de agrupación industrial “a”

La ecuación 3.1 indica que el Indicador de Energía por establecimiento industrial es directamente proporcional al consumo de energía, es decir a la cantidad de combustible utilizado así como al poder calorífico y densidad del combustible e inversamente proporcional al parámetro seleccionado a estudiar. El indicador del conjunto de establecimientos considerando el nivel de agrupación industrial (sector, subsector, rama o actividad industrial), es el promedio de los indicadores de cada establecimiento.

7. Establecer el grado de concordancia aceptable entre consumo de energía y parámetro. Se calcula la energía consumida utilizando el Indicador de Energía calculado con la Ecuación 3.1. Posteriormente se calcula el error considerando de la energía reportada y la energía del indicador utilizando la Ecuación 3.2.

$$\% \text{ de error} = \left[\frac{\text{energía calculada} - \text{energía reportada}}{\text{energía calculada}} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

Se evalúa el error para aceptar el Indicador Energético final. Cuando la concordancia no se encuentra dentro del porcentaje de error establecido, se identifica una nueva relación con otro parámetro hasta el grado de concordancia aceptado. Para establecer el grado de concordancia se considera la dispersión de los datos.

8. Establecer cualitativa y cuantitativamente las emisiones atmosféricas considerando el Indicador de Energía. Se cuantifica por tipo de contaminante, la emisión de contaminantes atmosféricos de acuerdo al indicador establecido.

9. Resultados y análisis. Los resultados serán sometidos a un análisis minucioso para obtener la coherencia y consistencia en relación a los objetivos planteados en este trabajo. Si el análisis no es consistente se deberán revisar los datos y el planteamiento de los pasos de la identificación y establecimiento de la relación del consumo de energía con el o los parámetros de los establecimientos considerando el nivel de sector, subsector, rama o actividad industrial.

10. Conclusiones y sugerencias. Finalmente se establecen las conclusiones a los resultados obtenidos. Asimismo se establecen una serie de recomendaciones para futuros

investigaciones, así como la retroalimentación para el fortalecimiento de la metodología aquí presentada.

En el Capítulo 4 se presenta la aplicación de la metodología definida en este capítulo utilizando los datos de los establecimientos industriales de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec. Con los resultados del Capítulo 4 se evalúa la correlación de los Indicadores Energéticos y las emisiones atmosféricas, aplicado a un caso de estudio. Finalmente en el Capítulo 6 se describen las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Capítulo 4

Indicadores Energéticos

4.1 Datos del Inventario 2000 de la ZMVM.

Se escogieron los datos de las Cédulas de Operación Anual (COAs) para el desarrollo de indicadores energéticos. Éste es el último año que se ha publicado oficialmente el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Los datos e información requerida se homologaron para este año.

4.1.1 Análisis de la base de datos

La base de datos analizada para establecer la metodología de Indicadores Energéticos fue la utilizada para el desarrollo del Inventario de Emisiones 2000 de la ZMVM. Consta de 638 establecimientos industriales localizados en los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec. En estos municipios son zona de de interés por parte de las autoridades debido a que en éstos se encuentran el 70% de los establecimientos industriales y aporta el 60% del total de las emisiones atmosféricas de los municipios conurbados en el Estado de México (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2002). El análisis de las COAs de estos municipios del Estado de México es representativo para estos 5 municipios.

En la Figura 4.1 a-b, se muestra el porcentaje de establecimientos industriales por municipio y competencia. Se observa que el de mayor contribución es del municipio de Tlalnepantla, seguido de Ecatepec. Así también se observa que el 55% corresponden a establecimientos de competencia Estatal.

La información contenida en la base de datos corresponde a la sección de Información Técnica General y Contaminación Atmosférica de la COA, de la Secretaría de Ecología del Estado de México y de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del

gobierno Federal (SEMARNAT). Los datos contenidos por establecimiento industrial en la base son:

- Competencia
- Sector, rama y actividad industrial
- Localización
- Fecha de inicio de operaciones
- Número equivalente de empleados y de obreros
- Tiempo de operación
- Tipo y cantidad de materia prima
- Tipo y cantidad de producción
- Tipo y cantidad de combustible usado
- Tipo y cantidades de equipos de combustión
- Emisiones a la atmósfera

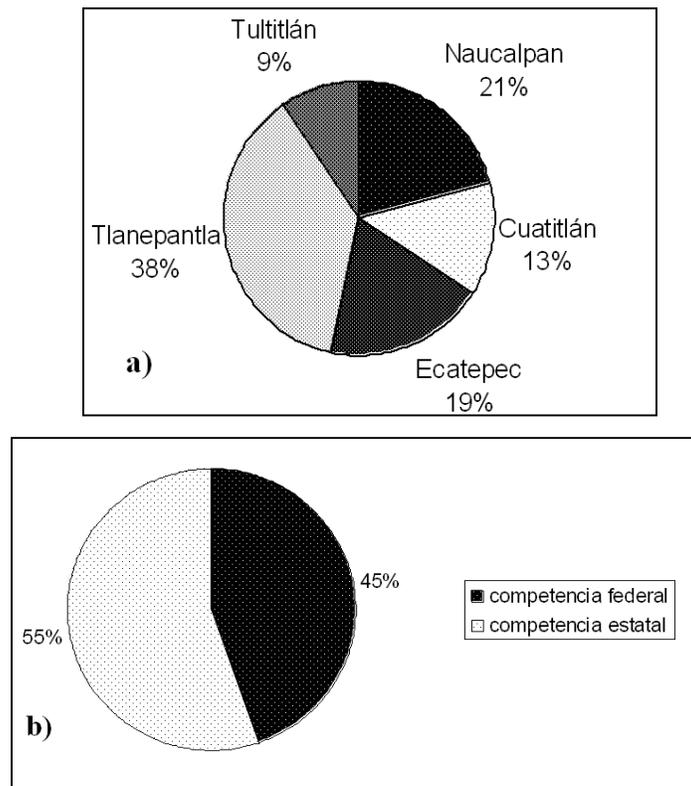


Figura 4.1 Porcentaje de contribución de establecimientos industriales por municipio y competencia.

En la Figura 4.2, se muestra el porcentaje de la contribución por subsector industrial. La base está conformada por 10 subsectores industriales.

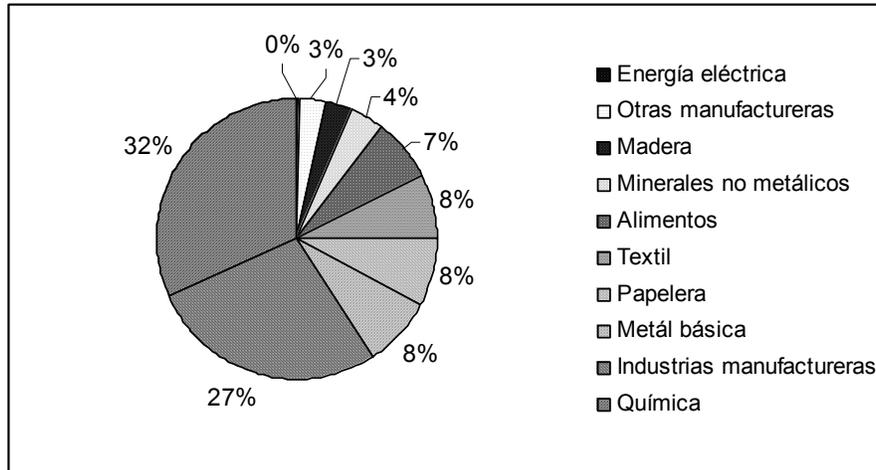


Figura 4.2 Porcentaje de contribución de establecimientos industriales por subsector industrial.

La clasificación de los establecimientos industriales esta basada en la Clasificación Mexicana de Actividades Industriales (CMAP). Las claves del CMAP agrupan al sector industrial por subsector, rama y actividad relacionándose con las materias primas y los productos que se procesan en el establecimiento.

Así, un establecimiento cuya clave CMAP es 352233, pertenece al subsector 35 de “Sustancias químicas productos derivados del petróleo”, cuya rama 22 es “Fabricación de otras sustancias y productos químicos” y actividad industrial 33 de “Fabricación de cerillos”.

4.1.2 Control de calidad de los datos.

Se descartaron los establecimientos industriales que no presentan datos de combustión ya que la finalidad del presente trabajo es el establecimiento de una metodología para el desarrollo de Indicadores Energéticos del consumo de combustibles fósiles. Así de los 638 establecimientos de los cuales se tenía información, se consideraron únicamente 482. De éstos establecimientos se encontraron 4 establecimientos duplicados y 17 establecimientos cuyas unidades de consumo no estaban identificadas. La muestra final a analizar fue de 461 establecimientos, los cuales representa el 73% de la base de datos original. En el Anexo B se muestra la lista de los subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos de la base de datos.

La Figura 4.3 muestra el porcentaje por tipo de combustible que los establecimientos industriales reportaron. Se observa que los de mayor consumo son el de Gas LP (GLP) seguido del de Gas Natural (GN). El combustóleo solo figura con 1% de consumo.

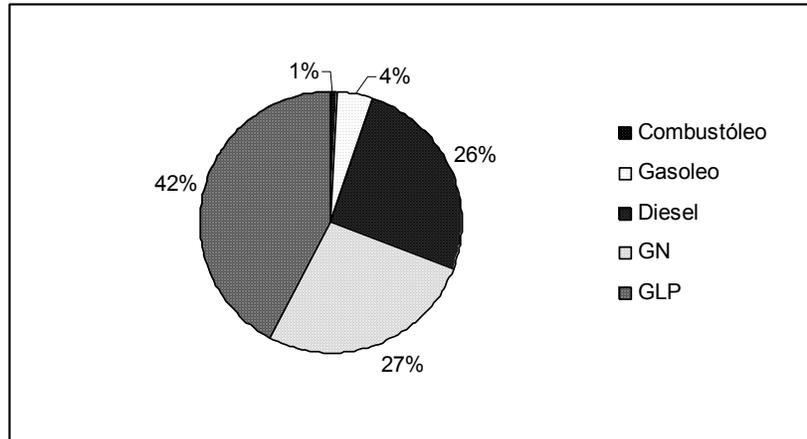


Figura 4.3 Porcentaje de consumo por tipo de combustible.

Para asegurar que los resultados sean correctos, se requiere de analizar minuciosamente la base de datos. El origen de los datos proviene de fuentes primarias, es decir directamente de los establecimientos industriales. Asimismo, las autoridades ambientales respectivas utilizaron esta información para el establecimiento del Inventario de Emisiones de la ZMVM-2000.

El desarrollo del Inventario requiere de un análisis escrupuloso del consumo del tipo y cantidad de combustible, de las características de los equipos de combustión, del equipo de control de emisiones, de la eficiencia de la combustión, de la actividad industrial y de la capacidad de producción. De tal forma que estos datos son usados para estimar las emisiones. La metodología de control de calidad identifica deficiencias de los datos de las COAs. Estas deficiencias pueden corregirse por tres vías: la más común es revisando a fondo la información de la empresa ya sea en registros actuales y/o registros históricos, la segunda es a través de verificar la información en campo y por último la sustitución de datos en función de criterios de ingeniería o estadísticos (Montufar, 2004). Dado que en la base de datos, utilizada en este estudio, carece de la información detallada de las características de los equipos de combustión; así como la dificultad de realizar la verificación en campo; la tercera opción para la corrección de los datos es la más factible. Se identificó que la cantidad de combustible y las emisiones atmosféricas serán los datos a utilizar para el aseguramiento de la calidad de la información, dado la factibilidad de la información en la base de datos y su relación con el consumo de energía.

La relación de la cantidad de combustible y las emisiones atmosféricas del Inventario se establece en el método de estimación de las emisiones. El método más utilizado de estimación es el uso de Factores de Emisión del documento AP-42, Air Chief de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA-USA por sus siglas en inglés)(Environmental Protection Agency- United State of America, 2004). Por lo tanto la metodología para el control de la calidad de los datos consiste en identificar los

factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones por tipo de combustible. La cantidad de las emisiones de los establecimientos se consideran como datos oficiales dado su aportación en el Inventario de Emisiones publicado por las autoridades. Así las emisiones se consideran como dato invariable en el manejo del control de la calidad de los datos.

Considerando que las emisiones de Partículas menores a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) son producto de la combustión incompleta, se considera el factor de emisión como la relación del balance de masas entre la cantidad de combustible que es quemado y las emisiones de este contaminante como producto. El control de calidad de los datos de combustible se toma a partir de este contaminante.

El Factor de Emisión teórico para la estimación de las emisiones se obtiene a partir de la ecuación 4.1

$$\text{FE}_{\text{teórico PM-10 } x} = \frac{E_{\text{PM-10}}}{\text{CC}_x} \quad (4.1)$$

donde:

$\text{FE}_{\text{teórico PM-10 } x}$ = Factor de emisión teórico de PM-10 de “x” combustible
[Ton/m³]

$E_{\text{PM-10}}$ = Emisión estimada de PM-10 [Ton/año]

CC_x = Cantidad de combustible de “x” combustible [m³/año]

Los FE obtenidos se sometieron al análisis estadístico para obtener los rangos percentiles. Este dato señala un valor de concentración, debajo del cual se encuentra un determinado porcentaje de datos ordenados por su magnitud. Por ejemplo, el valor del percentil 75 señala la concentración a partir de la cual se encuentran tres cuartas partes del total, en tanto que el percentil 25 señala la concentración a partir de la cual se encuentra una cuarta parte del total.

Con este método se encontró el dato Outlier o dato atípico. Dada la variación de los datos encontrados por la ecuación 4.1, la mayoría de las observaciones se concentran alrededor de la mediana; sin embargo los datos que se alejan considerablemente de éste, se consideran como datos atípicos, es decir datos que no ocurren frecuentemente y se alejan del resto. En el Anexo C se muestra el análisis estadístico percentil que se desarrolló para el control de la calidad de los combustibles. La Tabla 4.1 indica los Factores de Emisión teóricos que se obtuvieron de los diferentes combustibles reportados en la base de datos, a partir de la ecuación 4.1, así como las emisiones de contaminantes del Inventario de Emisiones.

Tabla 4.1 Factores de emisión teóricos calculados para control de calidad de la base de datos y emisiones del Inventario de Emisiones por tipo de combustión.¹

Combustible	Factor de Emisión PM-10 teórico [Ton/1E+6 m ³]	Emisiones (Ton/año)						
		PM ₁₀	SO _x	CO	NO _x	COT	COTNM	CH ₄
GN	0.12	313.66	357.09	1,343.18	7,032.86	46.43	35.13	9.80
GLP	72	170.88	789.98	821.53	5,271.62	159.63	125.73	33.15
Gasóleo	121	9.76	16.67	10.56	10.66	0.92	0.73	0.19
Diesel	722	24.62	413.56	765.94	1,208.19	765.94	41.74	11.11
Combustóleo	1480 - 3600	1.64	3.93	0.83	2.30	0.07	0.06	0.01

Los FE de la Tabla 4.1, con excepción del GN, se comportan en la misma magnitud que los establecidos en el AP-42 versión 5 (Environmental Protection Agency- United State of America, 2004). Así también con los FE se identifica el comportamiento de los combustibles en relación a las emisiones, deduciendo que el combustóleo es el combustible que mayor cantidad de PM₁₀ emite por m³ quemado. El GLP es el combustible más limpio en que a PM₁₀ se refiere. En el caso del GN, el AP-42 reporta un FE de 99.2 kg/m³ para equipos sin control de emisiones. Este dato es mayor que el encontrado en el análisis de control de calidad de este trabajo. Sin embargo el AP-42 versión 5 no expone FE para equipos de bajo NO_x, así como para equipos con recirculación de gases, por lo que se deduce que para el Inventario de Emisiones se estimaron las emisiones considerando algún tipo de control de emisiones.

A partir del dato del Factor de Emisión obtenido de la ecuación 4.1, se recalcularon las cantidades de combustible consumidos por los establecimientos que fueron detectados como datos atípicos. La energía consumida reportada y la energía consumida recalculada por tipo de combustible se muestran en la Tabla 4.2.

¹ Considerando la muestra de 461 establecimientos industriales de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec. Base de datos del Inventario de Emisiones de la ZMVM 2000.

Tabla 4.2 Energía consumida inicial y recalculada a partir del sistema de control de calidad¹

Combustible	Energía consumida reportada MJ/año	Energía consumida recalculada MJ/año	%error
GN	4.0 E+13	4.7 E+13	15.7
GLP	4.6 E+9	6.4 E+9	28.4
Gasóleo	6.7 E+7	7.2 E+7	6.8
Diesel	5.4 E+6	8.3 E+6	34.9
Combustóleo	2.0 E+7	2.0 E+7	0

El porcentaje de error de los datos de la tabla 4.2 tiene diversas fuentes. Estos pueden ser errores de captura del Inventario de Emisiones, concepto e interpretación de la información desde los establecimientos, manejo de los datos erróneos, cálculo o aplicación de ecuaciones matemáticas y factores de emisión equivocados o aproximados, conversión de unidades, entre otros errores de factor humano.

En la siguiente sección, se analizan las relaciones de energía consumida respecto a diversos parámetros de los establecimientos industriales y se establece el nivel de agregación de acuerdo a la clasificación industrial para el desarrollo de los Indicadores Energéticos.

4.2 Indicadores Energéticos a nivel de relación del consumo de energía

Los 461 establecimientos industriales consumieron un total de 4.77E+13 MJ en el año 2000, de acuerdo con la base de datos analizada en este trabajo de tesis, el GN fue el que subsanó el 99% de la demanda de la energía, y el resto por los otros combustibles: GLP, diesel, gasóleo y combustóleo. La Tabla 4.3 muestra el consumo general de energía por tipo combustible de los establecimientos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec.

Tabla 4.3 Consumo de energía de los 461 establecimientos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec.

Combustible	Nº de establecimientos	% de establecimientos	Consumo (m ³ /año)	% de consumo	Energía consumida MJ/año	% de energía consumida
GN	121	26.2	1,363 E+06	99.9	47,714 E+09	99.9
GLP	195	42.3	248,490.26	0.018	6,477 E+06	0.013
Gasóleo	20	4.3	19,142.09	0.0014	718 E+06	0.00015
Diesel	121	26.2	203,491.97	0.014	8,254 E+06	0.017
Combustóleo	4	0.8	512.98	3.76E-05	21 E+06	4.36E-05
TOTALES	461	100	1,364 E+06	100	47,730 E+09	100

La relación del consumo de energía con parámetros de producción, número de obreros y horas de operación considera las toneladas de producción y de manera indirecta el tamaño del establecimiento y la eficiencia respectivamente. Las características que influyen en el consumo de energía son:

- Subsector, rama y actividad industrial
- Antigüedad
- Capacidad de combustión
- Tipo de combustible
- Tamaño del establecimiento
- Tecnología de producción
- Mantenimiento de equipos de combustión
- Uso de energía eléctrica

Con excepción de los últimos tres datos, los demás se consideraron para el análisis del establecimientos de los indicadores energéticos. Los demás datos no son considerados en este estudio por adolecer de éstos en la base.

Para el establecimiento de la relación del sector industrial con los parámetros de la base de datos, se requiere primeramente de analizar el comportamiento de la homogenización de los datos de los 461 establecimientos. El grado de homogenización es el punto de partida para establecer el nivel firme para la metodología de los Indicadores Energéticos. Los parámetros que se relacionarán con el consumo de energía son: cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación. Estos parámetros fueron elegidos debido a la heterogeneidad del consumo de energía con otros datos de la base y por la jerarquía recopilada a través de una encuesta a expertos en proceso de combustión y desarrollo de indicadores.

El primer análisis se realizó con el grupo del 100% de los establecimientos con la cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación, es decir considerando el sector industrial de los municipios conurbados Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec.

Para identificar el grado de asociación, se consideró el consumo de energía como el parámetro variable, mientras que los parámetros relacionados (cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación) fueron consideradas las variables fijas. Las variables son aleatorias dependientes. Utilizando el método de mínimos cuadrados se identifica el rango predecible de valores del consumo de energía correspondientes al valor particular de cada parámetro. También se comprobó el comportamiento de la relación considerando el método de linealidad (Bowker, 1985).

4.2.1 Nivel de sector industrial

El ejemplo presentado en esta sección es la relación de la energía con el de número de obreros. Los cálculos de la energía con los parámetros de horas de operación y toneladas de producción se presentan en el Anexo D. La Figura 4.4 muestra la relación de la energía consumida en relación al número de obreros del total de establecimientos.

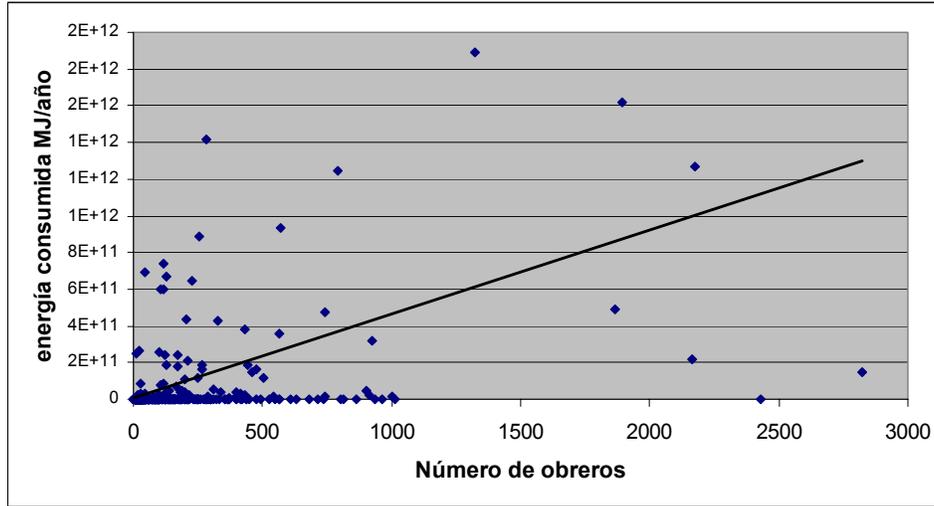


Figura 4.4 Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México y número de obreros (100% establecimientos).

En la Tabla 4.4 muestra el diagnóstico estadístico de Análisis de Varianza (ANOVA) de la relación del consumo de energía y número de obreros. El valor de probabilidad (P) (0.000) proporciona suficiente evidencia de que la cantidad de producción no tiene relación con la cantidad de energía consumida considerando el 100% de la muestra para un valor del nivel predeterminado de significancia (α) igual a 0.05.

Tabla 4.4 ANOVA de la relación del consumo de energía y número de obreros del 100% de la muestra.

One-way ANOVA: NE versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	48202211	128539	7.38	0.000
Error	1498366	17423		
Total	49700577			
S=132.0	R-Sq=96.99%		$\alpha^5 = 0.05$	

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

Los resultados de la dispersión de la relación consumo de energía y número de obreros establecen la conveniencia de manejar los datos estadísticamente por el método de análisis por grupos. La relación de la Figura 4.4 es analizada dividiéndola de manera vertical por grupos por número de obreros. La Figura 4.5 muestra la relación de energía consumida de 413 establecimientos hasta 500 obreros.

A pesar de enfocar el análisis por grupo, se sigue observando en la Figura 4.5 una alta dispersión de los datos. La Industria A es un establecimiento de Fabricación de Papel y el giro de la Industria B es Textil. Al analizar el comportamiento de los establecimientos A y B, los cuales tienen el mismo número de obreros, se observa que la cantidad de producción de energía es diferente. Ante este panorama consideramos la conjetura de que la industria B es un establecimiento automatizado que a pesar de que puede considerarse como una industria grande, no consume mucha energía o la que consume solo es para servicios de cocina o similares. El consumo de energía será entonces a través de energía eléctrica y no del uso de combustibles fósiles. También hay que considerar que los datos analizados, presentan diversas gamas de tipo de producción, tecnología, tiempo de producción, mantenimiento de equipos, capacidad de equipos de combustión.

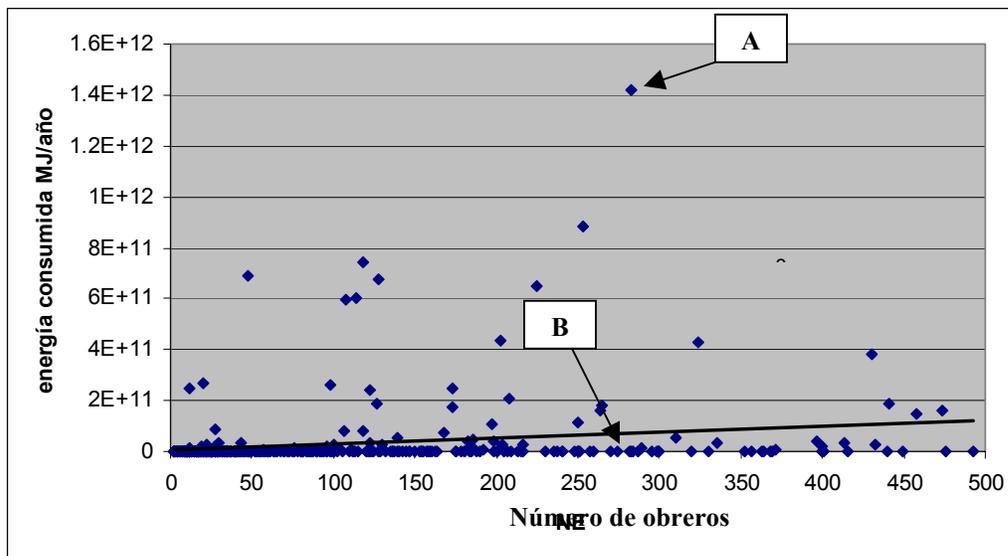


Figura 4.5. Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México VS número de obreros (89% establecimientos cuyo número de obreros es menor a 500).

Sin embargo este nuevo análisis aún no es conveniente, por lo que se propone un nuevo manejo de datos de manera vertical el cual se muestra en las Figuras 4.6 a 4.9. Este análisis considera el manejo de grupos de manera horizontal. Para esto se consideró la clasificación de acuerdo con la capacidad térmica de los equipos de combustión de acuerdo con la NOM-085-SEMARNAT-1994:

- Menor a 5,250 MJ/h
- Entre 5,250 a 43,000 MJ/h
- Entre 43,000 a 110,000 MJ/h
- Mayor a 110,000MJ/h

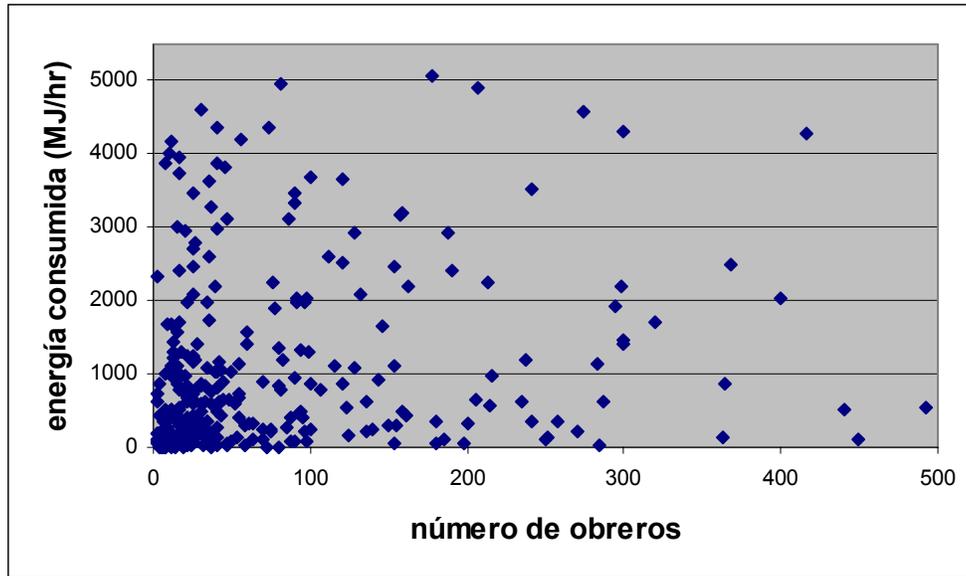


Figura 4.6 Relación de la energía consumida hasta 5,250 MJ/año y número de obreros (63% de la muestra).

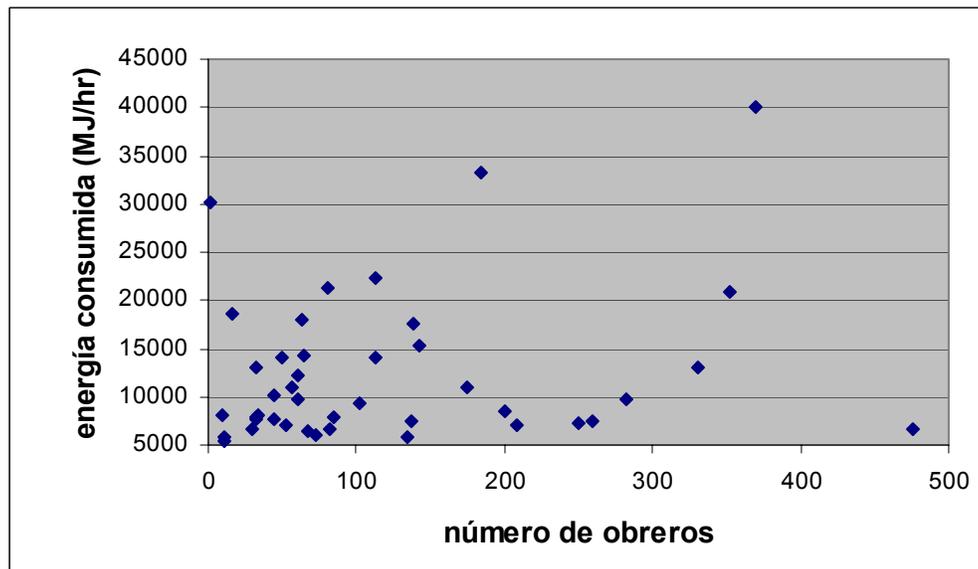


Figura 4.7. Relación de la energía consumida de 5,250 – 43,000 MJ/año y número de obreros (9% de la muestra).

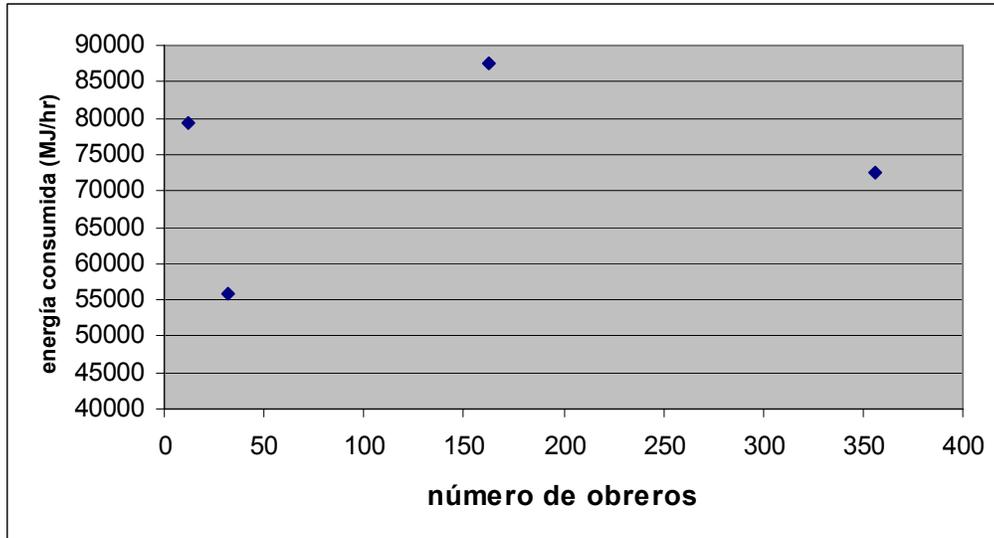


Figura 4.8 Relación de la energía consumida de 43,000 – 110,000 MJ/año y número, de obreros (0.9% de la muestra).

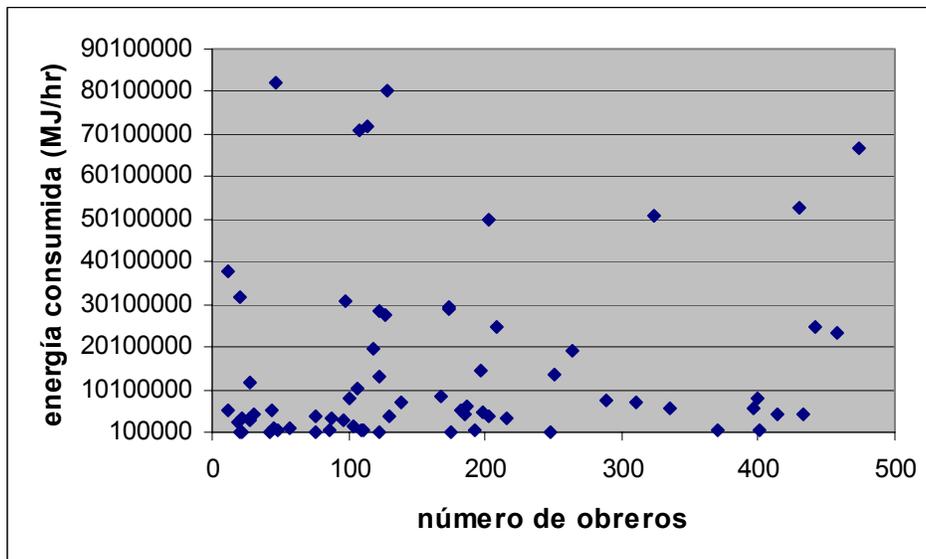


Figura 4.9 Relación de la energía consumida mayor a 110,000 MJ/año y número de obreros (15% de la muestra).

Como se observa en las Figuras 4.6 a– 4.9 la relación del consumo de energía y número de obreros considerando la división horizontal (establecida en la NOM- 085- SEMARNAT-1994) es más consistente. Sin embargo aún los datos no presentan un comportamiento homogéneo para establecer Indicadores Energéticos.

En las Figuras 4.4 a 4.9 se observa una gran dispersión, por lo que se deduce que la base de datos en general presenta una alta heterogeneidad. Esta dispersión se debe a que la

base de datos es muy variada, presenta 10 subsectores, 44 ramas y 154 actividades industriales. Estos a su vez presentan una variedad de tecnologías y características particulares por establecimiento industrial. De tal forma que el desarrollo del Indicador Energético considerando el 100% del sector industrial no será confiable. Por lo que es recomendable analizar a nivel de subsector la relación con el consumo de energía.

4.2.2 Nivel de subsector industrial

Como ejemplo de análisis por subsector se muestra el subsector industrial de la producción de “Sustancias químicas productos derivados del petróleo y del carbón de hule y de plástico SQPDP”. La muestra es de 152 establecimientos industriales que representan el 33% del total de los datos. La relación del consumo de energía con la producción del subsector 35 se muestra en la Figura 4.10.

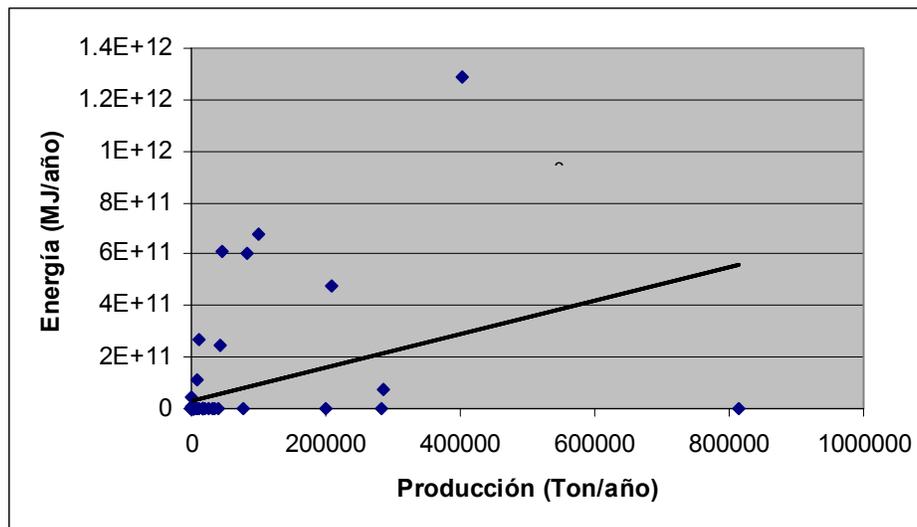


Figura 4.10 Relación del consumo de energía con la producción del subsector SQPDP de los establecimientos conurbados del Estado de México (33% de la muestra).

En la Tabla 4.5 se muestra el diagnóstico estadístico de Análisis de Varianza (ANOVA) de la relación del consumo de energía y la producción del subsector SQPDP. El valor de probabilidad (P) (0.000) proporciona suficiente evidencia de que la cantidad de producción no tiene relación con la cantidad de energía consumida del subsector industrial SQPDP para un valor del nivel predeterminado de significancia (α) igual a 0.05.

Tabla 4.5 ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y producción del subsector SQPDP.

One-way ANOVA: cantidad de producción versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	1.01325E+12	1.23567E+10	293.29	0.000
Error	421315665	4.21316E+07		
Total	1.01137E+12			
S=6491	R-Sq=99.96%	$\alpha^5 = 0.05$		

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

El análisis de la Figura 4.10 del subsector 35 tiene un alto grado de dispersión similar a las Figuras 4.6 a 4.9, por lo que se demuestra que el nivel de subsector aún no es conveniente para establecer un Indicador Energético. El análisis requiere de un manejo aún mas detallado, es decir por rama y actividad industrial.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en la base de datos se tienen casos de número de establecimientos a nivel de actividad con un solo establecimiento. Ante esto se debe considerar que el desarrollo del Indicador Energético de un grupo de establecimientos con este esquema no es factible. Para el caso de este trabajo se consideró que el desarrollo de Indicadores Energéticos es factible cuando por lo menos existen 4 establecimientos de la misma actividad o rama.

Asimismo se estableció que de acuerdo a la dispersión de los datos, el error máximo de la desviación del Indicador Energético de la actividad industrial en relación a la energía consumida reportada es de 15%. Un error más grande no es considerado factible para los objetivos del presente trabajo.

4.2.3 Nivel de rama y actividad industrial

El objetivo de establecer Indicadores Energéticos es establecer la relación matemática de parámetros, para este estudio de la energía consumida con cantidad de producción, número de obreros y/o tiempo de operación de un conjunto de establecimientos industriales. Entre mayor sea la cantidad de establecimientos que aplique esta relación, la comunicación de la información será más sencilla debido a que en una expresión matemática se conjunta la información del comportamiento de energía de un grupo grande de industrias. De esta forma se aplicó la metodología de la sección 3.1 primeramente a nivel de rama. Si el indicador no fuera aceptable, entonces se aplica a nivel más detallado, que es la actividad industrial.

En esta sección se presentan 3 casos para las actividades “Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares”, “Fabricación de jabones, detergentes y dentífricos” y “Fundición, laminación, extrusión, refinación y/o estiraje de aluminio”. Se calcularon indicadores energéticos usando la metodología presentada en la sección 3.1 de este trabajo.

Además de estos 3 ejemplos se desarrollaron indicadores energéticos para 3 grupos a nivel de rama industrial y nuevamente a nivel de actividad para 5 grupos. Se muestran los indicadores energéticos que presentan un error menor a 15% y que son considerados como datos aceptables. En el Anexo D se muestran los cálculos completos.

Ejemplo 1. Indicadores Energéticos para la actividad “Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares”.

La relación de la actividad de “Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares”, (FAIS) con el consumo de energía, se muestra en la Figura 4.11.

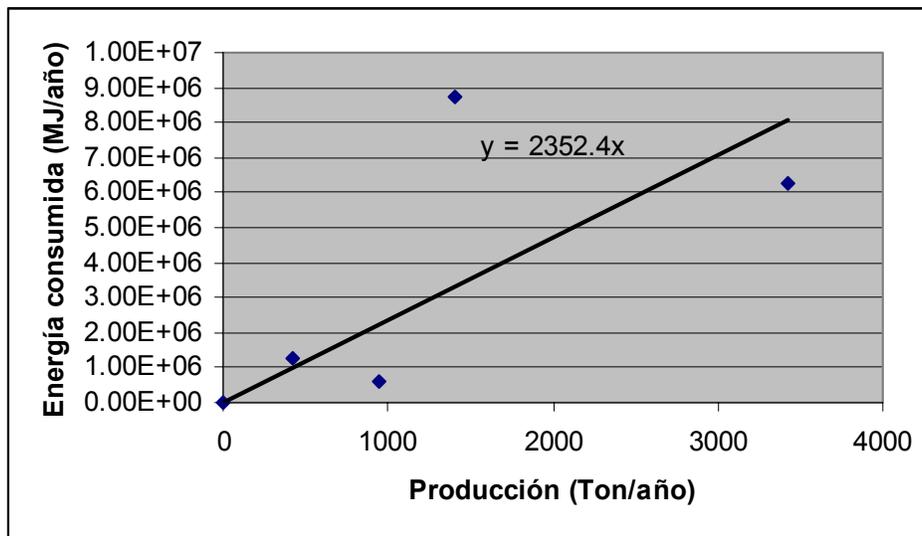


Figura 4.11. Relación del consumo de energía y producción de la actividad FAIS (30% de establecimientos de la rama “Fabricación de otras sustancias y productos químicos”).

Aplicando la metodología de la sección 3.1, se muestran los resultados en la Tabla 4.6 de los datos de consumo de energía y producción de los establecimientos de la Figura 4.10.

Tabla 4.6. Indicador Energético por establecimiento industrial de la actividad FAIS

Establecimiento (clave)	Indicador (MJ/Ton producción)
A	2,352.4
B	2,352.4
C	2,352.4
D	2,352.4

Para obtener el Indicador Energético de la actividad industrial FAIS, sustituimos los valores corregidos en la Ecuación 3.1 obteniendo:

$$\mathbf{I_{E/P\ FAIS} = 2,352.4\ MJ/Ton\ de\ producción}$$

Aplicando la ecuación 3.2, la desviación del Indicador Energético de la actividad industrial FAIS con relación a la energía consumida reportada es de 15%, por lo que podemos considerar al $\mathbf{I_{E/P\ FAIS}}$ como un dato aceptado para esta actividad.

Además de considerar la producción para el desarrollo de Indicadores Energéticos, se establecieron indicadores con el consumo de energía y su relación con número de obreros y el tiempo de operación, aplicándose la misma metodología de la sección 3.1. Los indicadores para la actividad FAIS con número de obreros y horas de operación son:

$$\mathbf{I_{E/O\ FAIS} = 107,271.03\ MJ/obrero\ \quad error\ 5\%}$$

$$\mathbf{I_{E/h\ FAIS} = 674.98\ MJ/h\ de\ operación\ \quad error\ 4.9\%}$$

El indicador de MJ/obrero de la actividad de FAIS, presenta un orden de magnitud de 107,271MJ por cada obrero. Este dato a primera vista es un número muy grande si consideramos que es la cantidad de energía que debe consumirse por obrero. Los establecimientos varían entre 4 y 80 obreros. Considerando la clasificación oficial de México (DOF, 1999) y la clasificación de la OCDE, la FAIS de los municipios estudiados están consideradas como micro y pequeñas empresas. El indicador es aceptable, ya que las industrias a las que se hace referencia tienen un mínimo de obreros.

Ejemplo 2. Indicadores Energéticos para la actividad “Fabricación de jabones, detergentes y dentífricos”.

La relación de la producción de la actividad de “Fabricación de jabones, detergentes y dentífricos” (FJDD) con el consumo de energía se muestra en la Figura 4.12.

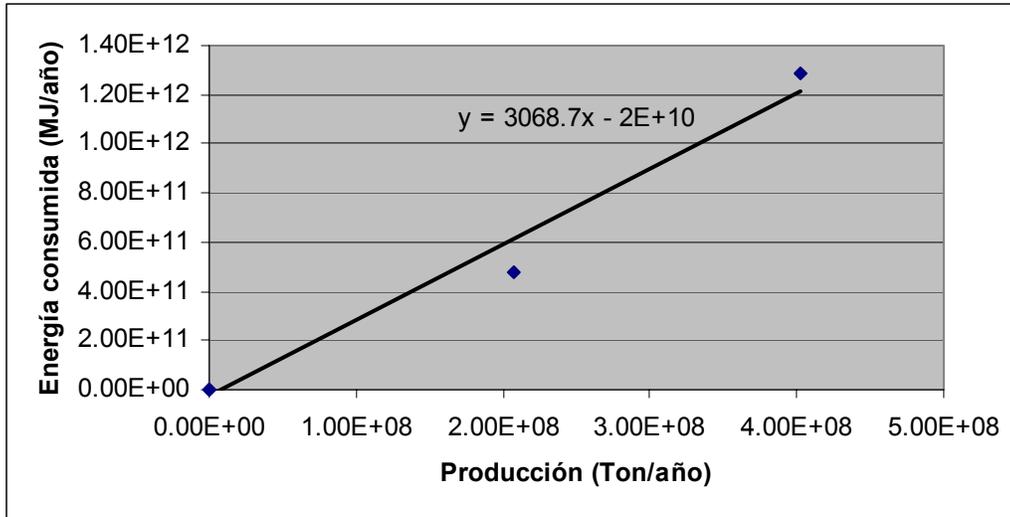


Figura 4.12. Relación del consumo de energía y producción de la actividad FJDD (36% de establecimientos de la rama “Fabricación de otras sustancias y productos químicos”).

Aplicando la metodología de la sección 3.1, en la Tabla 4.7 se muestran los resultados de los datos de consumo de energía y producción de los establecimientos de la Figura 4.12.

Tabla 4.7. Indicador Energético por establecimiento industrial de la actividad FJDD.

Establecimiento (clave)	Indicador MJ/Ton producción
E	838
F	830
G	378
H	2,302
I	3,189

Los datos para los establecimientos E, F y G de la Tabla 4.7 nos muestra una tendencia de Energía consumida por tonelada de producción, en tanto los establecimientos H e I se comportan de manera diferente. Esto nos lleva a la necesidad de analizar el porqué de estas diferencias. La Tabla 4.8 muestra las características detalladas de cada establecimiento. Probablemente la actividad de algunos de estos establecimientos son exclusivos para producción de jabones y/o detergentes, mientras que otros sea exclusivo de producción de dentríficos o la combinación de las tres actividades.

Tabla 4.8 Características de los establecimientos de la actividad FJDD

Estableci- -mientos (claves)	Energía consumida			# de empleados + obreros	Antigüedad del establecimiento (años)
	Combustible	MJ/año	h/año		
E	Diesel	4.9 E+5	3625	99	32
F	Diesel	3.4 E+7	3625	s/dato	29
G	Diesel	6.5 E+7	6650	85	42
H	GN	4.7 E+11	8400	1086	28
I	GN	1.3 E+12	8400	2968	61

Al analizar las características de estos establecimientos deducimos que los establecimientos E, F y G son pequeñas y medianas empresas, mientras que para la H e I se consideran como grandes empresas. Además el consumo de la energía de los tres primeros establecimientos por la combustión de diesel es mucho menor que el de las últimas dos que consumen GN.

Por lo que podemos establecer dos grupos para los indicadores, para establecimientos FJDD determinadas como medianas y grandes empresas. De esta forma, sustituyendo los datos en la ecuación 3.1, tenemos:

$$\begin{aligned}
 I_{E/P \text{ FJDD pymes}} &= 682.05 \text{ MJ/Ton de producción} \\
 I_{E/P \text{ FJDD grandes}} &= 2,995.77 \text{ MJ/Ton de producción}
 \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación 3.2, la desviación del indicador energético de la actividad industrial FJDD con relación a la energía consumida es de 3.6%, por lo que podemos considerar que el indicador energético es un dato aceptado para esta actividad.

Además de considerar la producción para el desarrollo de indicadores energéticos, se estableció indicadores con el consumo de energía y su relación con número de obreros y el tiempo de operación. Aplicando la misma metodología de la sección 3.1, el indicador energético para la actividad FJDD con número de obreros es:

$$I_{E/O \text{ FJDD}} = 486,256.42 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error 20\%}$$

Se observa un alto porcentaje de error (mayor a 15%), por lo que el indicador de la energía consumida por número de obreros no es considerado como un valor aceptado. También se aplicó la metodología de la sección 3.1 para el indicador del consumo de energía y horas de operación, sin embargo no existe relación con estos parámetros por lo que no se desarrollaron estos Indicadores Energéticos.

Ejemplo 3. Indicadores Energéticos para la actividad “Fundición, laminación, extrusión, refinación y/o estiraje de aluminio”

La relación de la producción de la actividad de la “Fundición, laminación, extrusión, refinación y/o estiraje de aluminio”, (FLEREA) con el consumo de energía, se muestra en la Figura 4.13.

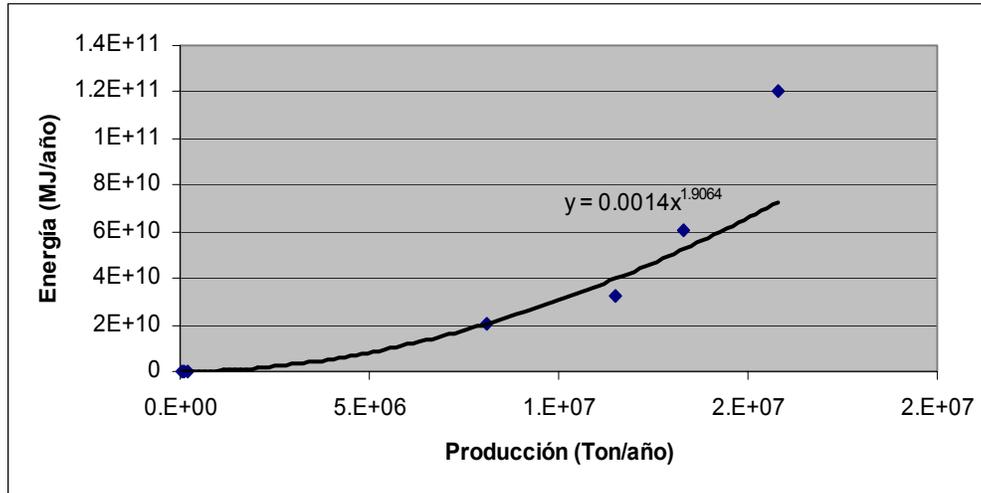


Figura 4.13 Relación del consumo de energía y producción de la actividad FLEREA (33% de establecimientos de la rama “Industrias básicas de metales no ferrosos incluye el tratamiento de combustibles nucleares”).

Aplicando la metodología de la sección 3.1, en la Tabla 4.9 se muestran los resultados de los datos de consumo de energía y producción de los establecimientos de la Figura 4.13.

Tabla 4.9 Indicador Energético por establecimiento industrial de la actividad FLEREA.

Establecimiento (clave)	Indicador MJ/Ton producción
J	193.80
K	56.22
L	81.19
M	2,537.95
N	2,783.73
O	4,561.07
P	7,640.08

Al igual que la actividad FJDD los indicadores de la Tabla 4.9 muestran una consistencia para dos grupos. Por lo que nos lleva a la necesidad de analizar el porqué de estas diferencias. La Tabla 4.10 muestra las características de cada establecimiento.

Tabla 4.10 Características de los establecimientos de la actividad de la actividad FLEREA.

Establecimientos (claves)	Energía consumida				# de empleados + obreros	Antigüedad del establecimiento (años)
	Combustible	MJ/año	h/año	MJ/h		
J	Diesel	1.1E+7	6695	1.64E+03	99	58
K	GLP	3.7E+6	2218	1.67E+03	167	28
L	GLP	2.3E+6	1585	1.45E+03	255	31
M	GN	2.0E+10	6635	3.01E+06	62	30
N	GN	3.2E+10	2394	1.34E+07	72	12
O	GN	6.0E+10	8308	7.22E+06	241	54
P	GN	1.2E+11	8349	1.44E+07	167	21

A diferencia de la actividad FJDD, en la Tabla 4.10 se observa un comportamiento de tamaño del establecimiento heterogéneo entre los dos grupos, por lo que se requiere del análisis de otros factores. Considerando la clasificación de la NOM-085-ECOL-1994, el primer grupo conformado por los establecimientos J, K y L consumen menos de 5.24E+03 MJ/h, mientras que el resto están consumiendo más de 1.1E+05 MJ/h.

Además también se observa que el 100% de los establecimientos del segundo grupo, consumen como combustible GN. La producción de estos establecimientos es la más grande del grupo¹, por lo que se deduce que el consumo de GN es para reducir la cantidad de contaminantes a la atmósfera (por considerarse un combustible limpio) y estar dentro de los rangos de los límites máximos permisibles. El tamaño de la empresa es un factor indirecto de consumo de energía fósil, sin embargo no es una pauta general. La fuente de energía de tecnologías automatizadas es, en su mayoría, a través del uso de energía eléctrica. Sin embargo la metodología de Indicador Energético aquí presentado adolece de este dato. Así se identificaron establecimientos con muchas horas de operación y consumos energéticos bajos, cuya hipótesis es el uso de energía eléctrica más que combustibles fósiles.

Aunado a lo anterior vemos también que existe una relación con la antigüedad de los establecimientos. Con excepción del establecimiento K, en el primer grupo los establecimientos tienen una antigüedad más grande que el resto y un menor consumo de energía. El análisis del segundo grupo, con excepción del establecimiento N, los años de producción son menores y con mayor consumo de energía. Considerando que la antigüedad del establecimiento refleje la antigüedad de los equipos de combustión, podemos deducir que la eficiencia de la combustión se ve reflejada en la antigüedad de los equipos. Para el caso de los establecimientos K y N, tendremos que analizar el mantenimiento, así como la renovación de tecnología. Sin embargo estos datos no están contenidos en la base de datos inicial, por lo que recomendamos analizar hasta este punto de detalle en un trabajo posterior.

¹ Por cuestiones de confidencialidad se evita poner la cantidad exacta de producción.

El análisis anterior nos permite establecer dos Indicadores Energéticos para la actividad industrial FLEREA. El primero para establecimientos mayores a 30 años de antigüedad, con mantenimiento menor, consumo de combustible no de GN y producción menor a 20,000 Ton/año. El segundo indicador para establecimientos menores a 30 años de antigüedad, con un régimen de mantenimiento constante, renovación de tecnología, uso de GN y producción a mayor a 20,000 Ton/año. Al considerar las características para la selección de uno u otro indicador, éstas no pudieran cumplirse de manera estricta, sin embargo la tendencia a elegir uno u otro se apegan a ellas.

Aplicando la ecuación 3.1, los Indicadores Energéticos para la actividad FLEREA son:

$$\begin{aligned} I_{E/P \text{ FLEREA 1er grupo}} &= \mathbf{110.4 \text{ MJ/Ton de producción}} \\ I_{E/P \text{ FLEREA 2o grupo}} &= \mathbf{4,380.71 \text{ MJ/Ton de producción}} \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación 3.2, la desviación del indicador energético de la actividad industrial FLEREA con relación a la energía consumida es de 9.6%, por lo que podemos considerar que el indicador energético es un dato aceptado para esta actividad.

Además de considerar la producción para el desarrollo de Indicadores Energéticos, se establecieron indicadores con el consumo de energía y su relación con número de obreros y el tiempo de operación. Se aplicó la misma metodología de la sección 3.2 para estos casos. Sin embargo no se presentó relación para la energía consumida y número de obreros y horas de producción para la actividad FLEREA.

4.2.3.1 Indicadores a nivel de rama industrial.

Para las ramas de la “Industria de la carne (IC)”, “Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano (EOPA)” y “Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos incluye para la generación de energía (FEMEE)” se desarrollaron Indicadores Energéticos cuyo error fue menor a 15%.

El Indicador Energético para el consumo de energía y la cantidad de producción para la rama de la “Industria de la carne (IC)” es:

$$I_{E/O \text{ IC}} = \mathbf{737.07 \text{ MJ/obrero}} \quad \mathbf{\text{error 12\%}}$$

Los indicadores con el consumo de energía y su relación con número de obreros y el tiempo de operación no presentaron relación para la energía consumida y número de obreros y horas de producción para la actividad IC. Probablemente estos resultados dependen del tipo de actividad que los establecimientos desarrollan, como crianza o comercialización, lo que lleva a necesidades diferentes y consumos diferentes de energía.

Los indicadores con el consumo de energía y su relación con número de obreros y el tiempo de operación no presentaron relación para la energía consumida y número de obreros y horas de producción para la rama de “Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano (EOPA)”. Solo se encontró relación para el indicador energético del consumo de energía y la cantidad de producción para EOPA. El consumo de energía probablemente depende del tipo de actividad específica que desarrollan, y por lo tanto a necesidades diferentes de energía. Además en la rama EOPA existe una amplia variedad de líneas de producción. El indicador desarrollado para EOPA es:

$$I_{E/O_{EOPA}} = 1,158 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error 2.5\%}$$

Finalmente para la rama de la “Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos incluye para la generación de energía (FEMEE)” se identificaron los indicadores energéticos para número de obreros y horas de operación. En esta rama las actividades parecen ser similares, por lo que puede haber mayor relación de la energía consumida y número de obreros, así como con tiempo de operación. Los indicadores para la actividad “FEMEE” son:

$$I_{E/O_{FEMEE}} = 1.88 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error 15\%}$$

$$I_{E/h_{FEMEE}} = 3,047.91 \text{ MJ/h de operación} \quad \text{error 2.41\%}$$

Las ramas industriales IC, EOPA y FEMEE son grupos cuyas actividades tienen características similares: son de competencia local, el consumo de energía no es mayor a $3E+7$ MJ/año, el 73% de los establecimientos que usan diesel o GLP, la tecnología no varía de una actividad a otra de la misma rama. Sin embargo la variedad de que se desarrolle uno u otro Indicador Energético de manera satisfactoria en una misma rama se atribuye a la diversidad de gamas en tecnologías, al consumo de combustibles fósiles y la diversidad de las líneas de producción.

4.2.3.2 Indicadores Energéticos a nivel de actividad industrial.

Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos (FPQBI)

Para la actividad de “Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos (FPQBI)” los Indicadores Energéticos que se desarrollaron son:

$$I_{E/P \text{ FPQBI}} = 6,777.19 \text{ MJ/Ton de producción} \quad \text{error } 80\%$$

$$I_{E/O \text{ FPQBI}} = 4,609 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error } 10.3\%$$

$$I_{E/h \text{ FPQBI}} = 4,500 \text{ MJ/h de operación} \quad \text{error } 33\%$$

El único dato aceptado es el indicador del consumo de energía por número de obrero, dado que los indicadores por toneladas de producción y horas de operación los errores son mayores a 15%. La actividad FPQBI tiene una amplia gama de líneas de producción dado el universo de químicos básicos inorgánicos que se elaboran. De tal forma que las necesidades de consumo de energía dependerá de cada uno de éstas líneas individuales.

Fabricación de productos farmacéuticos (FPF)

Para la actividad de “Fabricación de productos farmacéuticos (FPF)” se desarrollaron los indicadores:

$$I_{E/P \text{ FPF}} = 8,617.94 \text{ MJ/Ton de producción} \quad \text{error } 30\%$$

$$I_{E/O \text{ FPF}} = 80,291.79 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error } 4.5\%$$

El indicador aceptable para FPF es el Indicador Energético por número de obreros. Sin embargo presenta un orden de magnitud de 80,291.79 MJ por cada obrero. Este dato a primera vista es un número muy grande si consideramos que es la cantidad de energía que debe consumirse por obrero. Los establecimientos varían entre 19 y 416 obreros, por lo que de acuerdo a la clasificación oficial de México (DOF, 1999) y de la OCDE para identificar a pequeñas, mediana y grandes empresas, la FPF de los municipios conurbados del Estado de México están consideradas como pequeñas y medianas empresas de acuerdo a su número de obreros.

Fundición y/o refinación de metales no ferrosos (FRMNF)

Los Indicadores Energéticos de la actividad de “Fundición y/o refinación de metales no ferrosos (FRMNF)” son:

$$I_{E/P_{FRMNF}} = 6,552.08 \text{ MJ/Ton de producción} \quad \text{error 47\%}$$

$$I_{E/O_{FRMNF}} = 149,120.44 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error 10\%}$$

$$I_{E/h_{FRMNF}} = 1,926.78 \text{ MJ/h de operación} \quad \text{error 2.3\%}$$

El Indicador Energético con toneladas de producción no es aceptado por tener un error mayor a 15%. Sin embargo los indicadores relacionados con número de obreros y horas de operación son considerados aceptados por su error menor al 15%. Es pertinente analizar que el indicador de MJ/obrero de la actividad de FRMNF, presenta un orden de magnitud de 149,120.44 MJ por cada obrero. Este dato a primera vista es un número muy grande si consideramos que es la cantidad de energía que debe consumirse por obrero. Los establecimientos varían entre 3 y 610 obreros (2 establecimientos reportan 533 y 610 obreros, sin embargo su comportamiento tiende al de una empresa mediana), por lo que de acuerdo a la clasificación oficial de México (DOF, 1999) y la considerada por la OCDE para identificar las pequeñas, mediana y grandes empresas, así como la clasificación de la OCDE, la FRMNF de los municipios conurbados del Estado de México están consideradas como pequeñas y medianas empresas de acuerdo a su número de obreros.

Galvanoplastia en piezas metálicas (GPM)

Para la actividad de “Galvanoplastia en piezas metálicas (GPM)”, el Indicador Energético que se desarrolló con un porcentaje de error menor a 15% es considerando la relación del consumo de energía con toneladas de producción. Para los Indicadores Energéticos considerando número de obreros y horas de operación no existe relación. El Indicador Energético para la actividad GPM es:

$$I_{E/P_{GPM}} = 3,935.13 \text{ MJ/Ton de producción} \quad \text{error 7.6\%}$$

Fabricación de laminados de acero (FLA)

Finalmente el comportamiento de los indicadores para la actividad de “Fabricación de laminados de acero (FLA)” no es aceptable para ningún caso. Para el caso de Indicadores Energéticos con toneladas de producción y número de obreros presentan un error mayor a 15%. El Indicador con horas de operación no existe relación con la cantidad de energía consumida. Los Indicadores de la actividad FLA son:

$$I_{E/P_{FLA}} = 13,036.17 \text{ MJ/Ton de producción} \quad \text{error 23\%}$$

$$I_{E/O_{FLA}} = 90,563 \text{ MJ/obrero} \quad \text{error 25\%}$$

Al analizar la relación de la energía consumida con las horas de producción para la actividad FLA se presenta una situación puntual. Esta situación se puede extrapolar a las actividades en las que no existe relación entre estos dos parámetros. En la Figura 4.14 se señala una analogía del consumo de energía de 5 establecimientos de la actividad FLA.

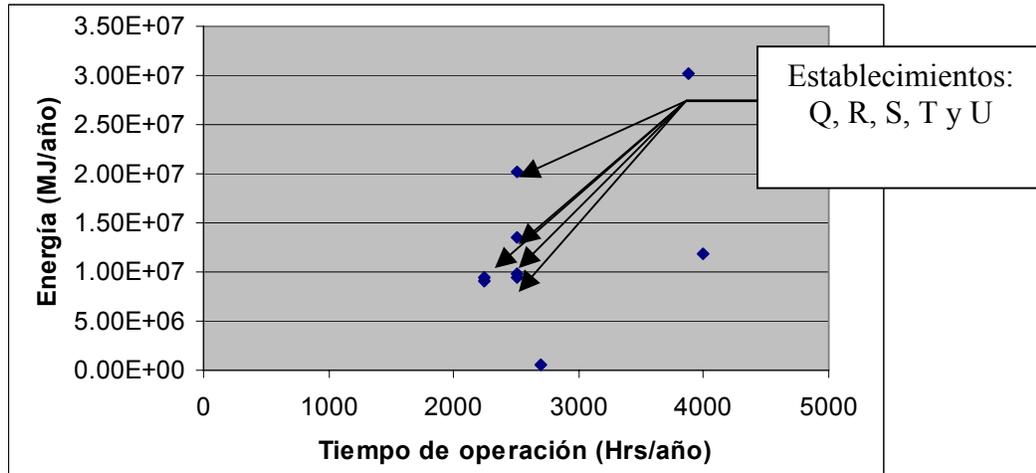


Figura 4.14 Relación de la energía consumida y tiempo de operación en horas al año de la actividad FLA.

En la Tabla 4.11 se muestra las cantidades del consumo de energía y horas de operación de los 5 establecimientos identificados. Se observa un consumo promedio de 4,256 MJ/h para establecimientos que operan entre 2250 y 2500 horas de operación. Sin embargo para el establecimiento de un indicador energético con horas de operación en MJ/h es conveniente profundizar en el análisis considerando las características de los equipos de combustión, como capacidad térmica del equipo de combustión, tipo de combustible, tipo de tecnología, tipo de control de emisiones y eficiencia.

Tabla 4.11 Consumo de energía y horas de operación de 5 establecimientos similares en tiempo de operación de la actividad FLA.

Establecimiento (clave)	h/año	MJ/año	MJ/h
Q	2250	9,001,440	4,001
R	2250	9,376,500	4,167
S	2500	9,376,500	3,751
T	2500	9,901,584	3,961
U	2500	13,502,160	5,401

En la Tabla 4.12 se resumen los Indicadores Energéticos desarrollados para 3 ramas y 8 actividades industriales. Se presentan los indicadores con errores mayor a 15% para el análisis de los mismos. Los recuadros en blanco indican que no existe una relación entre los datos.

Tabla 4.12 Resumen de de Indicadores Energéticos (por producción, obreros y horas de operación) para 8 grupos a nivel de actividad y 3 a nivel de rama para el sector industrial de la zona conurbana del Estado de México.

descripción de la rama o actividad industrial		Indicador 1		Indicador 2		Indicador 3	
		MJ/Ton producción	% de error	MJ/obrero	% de error	Mj/hr de operación	% de error
ACTIVIDAD	Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares.	2,352.4	15	107,271.03	5	674.98	4.9
	Fabricación de jabones, detergentes y dentífricos.	682.05	3.6	486,256.42	20	-----	-----
	Fundición, laminación, extrusión, refinación y/o estiraje de aluminio.	110.4	9.6	-----	-----	-----	-----
	Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos.	4,380.71	80	4,609	10.3	4,500	33
	Fabricación de productos farmacéuticos.	6,777.19	30	80,291.79	4.5		
	Fundición y/o refinación de metales no ferrosos.	8,617.94	47	149,120.44	10	1,926.78	2.3
	Galvanoplastia en piezas metálicas.	6,552.08	7.6	-----	-----	-----	-----
	Fabricación de laminados de acero.	13,036.17	23	90,563	25	-----	-----
RAMA	Industria de la carne.	737.07	12	-----	-----	-----	-----
	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano.	-----	-----	1,158	2.5	-----	-----
	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos incluye para la generación de energía.	-----		1.88	15	3,047.91	2.41

Los resultados de la Tabla 4.12, indican la diversidad de necesidades de energía por tipo de rama o actividad industrial. Se observa que el indicador que mejor se comporta es con toneladas de producción. La relación del consumo de energía y tiempo de operación no es satisfactoria en la mayoría de las ramas y actividades, para este caso es conveniente el análisis por equipos de combustión, agrupándolos por características similares como capacidad térmica del equipo de combustión, tipo de combustible, tipo de tecnología, tipo de control de emisiones y eficiencia.

Los indicadores desarrollados a nivel de clasificación de rama, tienen características similares: son de competencia local, el consumo de energía no es mayor a $3E+7$ MJ/año, el 73% de los establecimientos usan diesel o GLP, la tecnología no varía de una actividad a otra de la misma rama. Sin embargo no presentan una uniformidad de comportamiento para los 3 parámetros analizados, por lo que podemos deducir que las necesidades de energía requiere de considerar características más específicas de las actividades.

Capítulo 5

Correlación de Indicadores Energéticos con emisiones a la atmósfera.

En la combustión de combustibles fósiles se generan emisiones a la atmósfera de acuerdo al tipo y cantidad de combustible consumido. Existe una relación del consumo de energía y la emisión de contaminantes atmosféricos. Como se menciona en el Capítulo 2, los contaminantes que se consideran para el inventario de emisiones son las emisiones atmosféricas de partículas menores a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos totales (COT), compuestos orgánicos totales no metánicos (COTNM) y metano (CH_4) (Secretaría del Medio Ambiente del D.F. 2000, 2002).

El tipo y cantidad de emisiones a la atmósfera depende del tipo y calidad de los combustibles consumidos. Es en este sentido que los Factores de Emisión están desarrollados específicamente para actividades y equipos de combustión considerando características tales como capacidad y tecnología del equipo, tipo de combustible y control de emisiones.

Considerando las emisiones del Inventario de Emisiones de la ZMVM 2000 como datos oficiales, se calculó la relación del consumo de energía y las emisiones de los 461 establecimientos industriales que reportaron consumo de combustible.

De acuerdo a la metodología de inventarios de contaminantes atmosféricos a nivel local desarrollada en el ITESM-CEM (Montufar, 2004), una forma de control de calidad son las relaciones de emisiones de contaminantes atmosféricos y el consumo total de energía por combustible. Por lo que se obtuvo la relación de las toneladas de emisión por contaminantes por unidad de energía consumida. Estas emisiones se muestran en la Tabla 5.1. Un punto importante es que las emisiones están relacionadas directamente con el tipo, calidad y cantidad de combustible, por lo que no se pueden establecer relaciones considerando la energía y emisiones por grupos de subsectores, ramas o actividades industriales. Los datos de la Tabla 5.1 demuestran que el GN es el combustible con

menor impacto de emisiones a la atmósfera, a diferencia del GLP, gasóleo, diesel y combustóleo.

Los indicadores energéticos desarrollados con la metodología del Capítulo 3, sintetizan la información de la energía que se consume por unidad de tonelada de producción, por obrero o por hora de operación. Así, según las características de los establecimientos industriales se podrá seleccionar el indicador más apropiado para conocer la cantidad de energía conociendo, de antemano, parámetros como la cantidad de producción en toneladas, el número de obreros o el tiempo de operación en horas.

Tabla 5.1 Indicador de la emisión de contaminantes atmosféricos generados por unidad de energía por tipo de combustible de los establecimientos industriales de los municipios conurbados del Estado de México.¹

Combustible	Emisiones por unidad de energía (Ton/MJ)						
	PM ₁₀	SO _x	CO	NO _x	COT	COTNM	CH ₄
GN	6.57E-12	7.48E-12	2.82E-11	1.47E-10	9.73E-13	7.36E-13	2.05E-13
GLP	2.64E-08	1.22E-07	1.27E-07	8.14E-07	2.46E-08	1.94E-08	5.12E-09
Gasóleo	1.36E-08	2.32E-08	1.47E-08	1.49E-08	1.27E-09	1.02E-09	2.65E-10
Diesel	2.98E-09	5.01E-08	9.28E-08	1.46E-07	9.28E-08	5.06E-09	1.35E-09
Combustóleo	7.90E-08	1.89E-07	3.99E-08	1.10E-07	3.47E-09	2.77E-09	7.01E-10

Por ejemplo, retomando el indicador de la actividad de “Fabricación de Jabones, Detergentes, y Dentríficos (FJDD)” para establecimientos grandes, desarrollado en la sección 4.2.3 de este trabajo, se pueden estimar las emisiones de los 5 establecimientos de este grupo mostrados en la Tabla 5.2, sabiendo que los establecimientos consumen Diesel, excepto para los establecimientos D y E que consumen Gas Natural.

$$I_{E/P \text{ FJDD grandes}} = 2,995.77 \text{ MJ/Ton de producción}$$

Tabla 5.2 Emisiones de los establecimientos de la actividad FJDD estimados por el Indicador de toneladas de emisiones por energía consumida.

Establecimiento (clave)	Emisiones a la atmósfera (Ton/año)					
	PM ₁₀	SO _x	CO	NO _x	COT	COTNM
A	0.0015	0.0244	0.0452	0.0711	0.0452	0.0025
B	0.1015	1.7069	3.1617	4.9743	3.1617	0.1724
C	0.1944	3.2675	6.0525	9.5222	6.0525	0.3300
D	3.1021	3.5318	13.3149	69.4076	0.4594	0.3475
E	8.3324	9.4865	35.7648	186.4333	1.2340	0.9334

¹ Considerando la muestra de 461 establecimientos industriales de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec. Base de datos del Inventario de Emisiones de la ZMVM 2000.

En base a los datos de la Tabla 5.2 se observa que el combustible que menos genera contaminantes es el Gas Natural (GN). Este combustible es el que aporta el 99% de la demanda de energía del sector industrial en los municipios conurbados del Estado de México. El uso de este combustible se atribuye a que la Zona Metropolitana del Valle de México está considerada como una zona especial por la NOM-085-SEMARNAT-1994 de Contaminación Atmosférica para Fuentes Fijas. Esta norma considera un valor permisible de descarga de un contaminante a la atmósfera más estricto que en el resto del país, para fuentes fijas localizadas en la ZMVM. Estos límites se cumplen con el consumo de Gas Natural por ser un combustible limpio.

La Tabla 5.3 muestra que el combustible que mayor aporta en las emisiones de PM₁₀, CO y de NO_x es el GN debido a que es el de mayor consumo como se mencionó en el párrafo anterior. Sin embargo la contribución de contaminantes debido al consumo de GLP es la más alta en SO_x, COTNM y CH₄, y el segundo en NO_x, CO y PM₁₀. Por lo que una estrategia para la disminución de contaminantes debe enfocarse a la sustitución del GLP, dada la condición del GN como un combustible limpio, o la disminución de azufre en el GLP.

Tabla 5.3 Contribución en porcentaje de emisiones atmosféricas por tipo de combustible.

Combustible	Porcentaje de contribución de emisiones a la atmósfera (%)						
	PM ₁₀	SO _x	CO	NO _x	COT	COTNM	CH ₄
GN	60.25	22.58	45.65	52.00	4.77	17.27	18.06
GLP	32.83	49.96	27.92	38.98	16.41	61.82	61.08
Gasóleo	1.87	1.05	0.36	0.08	0.09	0.36	0.35
Diesel	4.73	26.15	26.03	8.93	78.72	20.53	20.48
Combustóleo	0.32	0.25	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El presente trabajo de investigación presenta la metodología para el desarrollo de Indicadores Energéticos, considerando la base de datos de las Cédulas de Operación Anual (COAs) del año 2000. Esta información fue utilizada por las autoridades ambientales, para el desarrollo del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) 2000.

El análisis de los datos de las Cédulas de Operación Anual, indican que la industria presenta una alta heterogeneidad de datos en el consumo de energía a nivel de sector y subsector industrial. La heterogeneidad se asocia a la diversidad de tipos y líneas de producción, así como a la tecnología de producción, características de los equipos y actividades de operación internas de los establecimientos.

Sin embargo, existe relación de la energía consumida con toneladas de producción, número de obreros y horas de operación. Esta relación depende de la antigüedad, tamaño, y actividad del establecimiento. De forma general se observa que el consumo de energía de los establecimientos industriales se comportan de manera diferente para los pequeños y medianas empresas; y las grandes empresas. El consumo de energía es más eficiente en las grandes empresas.

La relación del consumo de energía con toneladas de producción, número de obreros y tiempo de operación se comportan aceptablemente a nivel de rama y actividad, por lo que el mejor nivel para el establecimiento de los Indicadores Energéticos es la agrupación a nivel de rama y actividad industrial.

Se desarrollaron Indicadores Energéticos por producción, por obrero o por horas para 3 ramas y 8 actividades industriales, sin embargo no todos se comportaron satisfactoriamente para el mismo grupo de establecimientos industriales, por lo que

comprobamos que la industria se comporta de forma heterogénea. Así la necesidad de energía dependerá de la actividad industrial específica.

Existe relación de la energía consumida por tipo de combustible y cantidad de emisiones atmosféricas. Además que la cantidad de emisiones se puede estimar a partir del consumo de energía del combustible usado identificado por las toneladas de producción, número de obreros y/o horas de operación.

6.2 Recomendaciones

Debido a la heterogeneidad de los datos, la cantidad mínima recomendable para el desarrollo de Indicadores Energéticos es de 4 establecimientos industriales. Los grupos con menor número de establecimientos se consideran como Indicador de Energía individual del establecimiento que no es parte de los objetivos del trabajo. Así también el grado de error máximo de 15% se considera como un dato aceptable dada la dispersión de los datos.

La metodología para el establecimiento de Indicadores Energéticos presentada en este trabajo es factible para el sector industrial de la zona conurbada del Estado de México. Dado las características fisiográficas similares de la Zona Metropolitana del Valle de México, la metodología puede ser utilizada para el desarrollo de Indicadores Energéticos del sector industrial de la ZMVM. Sin embargo para su aplicación considerando a nivel de país, se recomienda emplear la metodología por áreas geográficas considerando la calidad de los combustibles, las condiciones geográficas y meteorológicas similares de la región.

Para trabajos futuros en el desarrollo de Indicadores Energéticos se recomienda analizar las características de los equipos de combustión de la capacidad térmica, tecnología, control de emisiones y el considerar el plan de mantenimiento. Asimismo se sugiere considerar los datos de la energía eléctrica y consumo de combustibles para la actividad del transporte.

En base a los resultados de este trabajo se recomienda a las autoridades ambientales federales y estatales desarrollar candados de control de calidad para recopilar información real y acorde a las características de los procesos de producción. El control de calidad de la información reducirá la incertidumbre de la veracidad de los datos.

Referencias

Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y El Comité Asesor Binacional, 1997. “Manuales del programa de inventarios de emisiones de México”. Volumen II – Fundamentos de inventarios de emisiones.

BOWKER, A. H., LIEBERMAN, G. J., 1985. “Estadística para Ingenieros”. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México. Pág. 335-386.

CAM, GDF, SEMARNAT, SSA, GEM, 2002. “Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002–2010”.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS, 2004. <http://www.cepis.ops-oms.org>. (Septiembre de 2004).

Diario Oficial de la Federación-DOF. 30/03/99

Environmental Protection Agency- United State of America, 2004. “AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources”. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>.

Gobierno del Distrito Federal. Sistema de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México, 2004. <http://www.sma.df.gob.mx/simat/homezona.php>. (15 de Septiembre de 2004).

Gobierno del Estado de México, 1998. “Acuerdo por el que se emite el Programa para Contingencias Ambientales de los Municipios Conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México”. (Publicado el 30 de octubre de 1998 en la Gaceta del Gobierno del Estado de México).

Gobierno del Estado de México, 1999. “Acuerdo por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del acuerdo por el que se emite el Programa para Contingencias Ambientales de los municipios conurbados de la zona metropolitana del valle de México”. (Publicado el 22 de diciembre de 1999 en la Gaceta del Gobierno del Estado de México).

Gobierno del Estado de México, 2000. “Manual de aplicación del programa para contingencias ambientales atmosféricas de los municipios conurbados de la zona metropolitana del valle de México”. (Publicado en la Gaceta del Gobierno del estado de México el 25 de octubre de 2000).

GÓMEZ J. BLANXCQ-CAZAUX, E., 2000. “Eficientización energética en inmuebles de los sectores público y privado en la Zona Metropolitana del Valle de México”. Celsol, S.A. de C. V. GEF.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información INEGI, 2004 <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp?e=09>
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp?t=&e=15>. (10 de septiembre de 2004)

LACY R., LÓPEZ M., ORTEGA J.A., 2000. “Conciencia Ciudadana y Contaminación Atmosférica: Estado de situación (México)”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

MONTUFAR P., 2004. “Desarrollo de un Inventario de Emisiones Industriales a Nivel Local”. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Estado de México.

Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD, 2004. “Helsinki Workshop on Material Flows and Related Indicators”, 17-18 June 2004

Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD, 2003. OCDE “Environmental Indicators”. Development, Measurement and Use. Reference Paper.

Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, 2005. Verificación vehicular. <http://www.edomexico.gob.mx/se/Default01.htm> (25 de marzo de 2005)

Secretaría de Energía, 2004. “Balance Nacional de Energía 2003”. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico.

Secretaria del Medio Ambiente del D.F., 2000. “Inventario de Emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998”. Dirección General de Gestión de la Contaminación del Aire. Distrito Federal, México.

Secretaria del Medio Ambiente del D.F., 2001. “Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias del Valle de México 2002”.

Secretaria del Medio Ambiente del D.F., 2002. “Inventario de Emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000”. Dirección General de Gestión de la Contaminación del Aire. Distrito Federal, México.

Secretaria del Medio Ambiente del D.F., 2004. “Inventario de Emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002”, Preliminar. Dirección General de Gestión de la Contaminación del Aire. Distrito Federal, México.

SEMARNAT, 2001. “Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes. Comisión de Cooperación Ambiental de Norteamérica. México”.

Senado de la República, 1999. “Boletín de la micro, pequeña y mediana empresa. Comisión de Desarrollo de la Pequeña y Mediana Empresa PYMES”. México.

Sistema de Información Ambiental – SIMA, 2005.

http://www.sima.com.mx/t1msn_valle_de_mexico/quees_imeca.htm. (10 de Enero de 2005)

Bibliografía

(lecturas recomendadas)

AZAR C., HOLMBERG J., LINDGREN K., 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecological Economics*. 18, 89-112.

HaBler R., Reinhard, D., 2000 “Environmental Rating: An Indicator of corporate environmental performance. *Greener Management International*. 29, 18-27. ISSN 0966-9671

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C., 2002. “NMX-SAA-14031-INMC-2002. Gestión ambiental – Evaluación del desempeño ambiental Directrices”. 1ª edición.

International Atomic Energy Agency. “Indicators for Sustainable Energy Development”. <http://www.iaea.org/worldatom/Programmes/Energy/pess/ISED.shtml> (enero de 2005).

JOHNSON S.D. 1998. “Identification and selection of environmental performance indicators: Application of the balanced scorecard approach. *Corporate Environmental Strategy*. 5 (4) 34-41.

McINTYRE K., SMITH H., HENHAM A., PRETLOVE J. “Environmental performance indicators for integrated supply chains: the case of Xerox Ltd”. *Supply Chain Management*. 3 (3) 149-156. ISSN 1359-8546.

Mediterranean Environmental Technical Assistance Program. Sub-regional workshop. “Environmental Performance Indicators - frame document”. Cairo 8-10 November 1998 and Split 26-28 November 1998.

NAGEL M.H., 2003. “Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than applications of the concept of cleaner production”. *Journal of Cleaner Production*. 11, 11-26.

OLSTHOORN X., TYTECA D., WEHRMEYER W., WAGNER M., 2001. "Environmental indicators for business: a review of the literature and standardization methods". *Journal of Cleaner Production*. 9, 453-463.

Organización para la cooperación y el desarrollo económicos- OCDE (1998). *Análisis del desempeño ambiental: México*.

VAN DER WERF W.N., 1998. Environmental performance indicators at Unox: An advance towards sustainable development. *Greener Management International*. 21, 113-119. ISSN 0966-9671.

VELEVA V., ELLENBECKER M., 2001. "Indicators of sustainable production: framework and methodology". *Journal of Cleaner Production*. 9, 519-549.

Anexo A

Metodología del control de calidad de los datos.

La metodología para el control de calidad de los datos se basa en el documento “Desarrollo de un inventario de emisiones industriales a nivel local”, tesis de maestría del M. en C. Pedro Cuahutemoc Montufar Ortiz. Este anexo presenta el resumen de la metodología completa.

Los inventarios de emisiones en Canadá, Estados Unidos y México son cada vez más complejos, con mejoras en el nivel de detalle, la frecuencia de actualización y el acceso ciudadano a ellos. La necesidad de formular planes regionales para reducir contaminantes criterio¹ genera cada vez mayor presión para elaborar inventarios de emisiones con menor incertidumbre, completos y actualizados. Los contaminante criterio son: materia particulado menor a 10 μ m (PM₁₀), materia particulado menor a 2.5 μ m (PM_{2.5}), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas suspendidas totales (PST). Disponer de inventarios regionales y de alta calidad nos permitirá formular políticas equitativas para atender la contaminación atmosférica regional.

Para México los inventarios de emisiones se calculan con metodologías propuestas por la EPA-AP42, los gobiernos federales y estatales usan estas metodologías, en mejor de los casos adecuándolas a la situación en México. En México los inventarios de emisiones se clasifican en: fuentes móviles, fuentes de área (servicios), fuentes industriales, biogénicas y naturales, en este trabajo se habla de fuentes industriales. Las actividades para la evaluación y aseguramiento de la calidad y el control de calidad son esenciales en el desarrollo de los inventarios de emisiones, para que éstos sean comprensivos y de alta calidad para cualquier propósito². La confianza en el inventario asegura el éxito de cualquier programa de prevención y control de la contaminación.

La metodología propuesta por Montufar sirve para la evaluación del control de calidad del inventario a nivel local, esta metodología es práctica y fácil de usar sobre todo si no se cuenta con experiencia en el área de inventarios de emisiones. La metodología consiste en determinar la

¹ Los contaminantes criterios se ha definido así por que se han encontrado efectos adverso en animales, plantas y materiales (Molina L.T, Molina M, 2001)

² Emission Inventory Improvement Program, Research Triangle Park, North Carolina

importancia de cada uno de los datos del Inventario, la forma de hacerlo es consultando a grupos de expertos en diferentes áreas de interés.

El resultado de esta calificación identifica los datos más importantes para el inventario y en los cuales se basa la evaluación del control de calidad. Como existe un número considerable de datos, Montufar recomienda agruparlos por secciones. Una vez agrupados por secciones se suma la calificación de cada dato y se promedia por sección. Esto permite identificar los datos que faltan en el inventario, así como los que están erróneos. La carencia de datos o de mala calidad los consideraremos como deficiencias (desviaciones) en el inventario. Las deficiencias encontradas para cada sección se pueden corregirse de diferentes maneras, la mas común es revisando a fondo la información de la empresa ya sea en registros actuales y/o registros históricos, otras es verificar la información en campo y por ultimo sustitución de datos en función de criterios de ingeniería o estadísticos.

La metodología para el desarrollo del inventario de emisiones industriales a nivel local y evaluación de la calidad de los datos son:

1. **Objetivos del inventario:** Existen tres usos principales del inventario de emisiones: evaluaciones de problemas de calidad del aire, datos de entrada para modelos de calidad del aire y actividades para la regulación de la fuentes¹
2. **Identificar las etapas del inventario:** Se identificaron 7 etapas generales: planeación, gestión de la información, integración de la información, control de calidad de los datos, calculo de emisiones, análisis del inventario y reportes del inventario.
3. **Identificar los componentes de calidad para el inventario:** Existe dos componentes importantes: el aseguramiento de calidad y el control de calidad. Es necesario reducir el número de errores técnicos² y de procedimiento³ o procesos en el inventario.
4. **Evaluación del control de calidad de la información:** Para obtener la confiabilidad de la bases es necesario hacer un análisis multidimensional.

Para la evaluación del control de calidad de la información se generaron encuestas para expertos en diferentes áreas, obteniéndose los datos con mayor importancia para la elaboración del inventario. Los pasos a seguir con la información recopilada por la encuesta son:

- Definición y estructuración del problema a investigar
- Definición de un conjunto de criterios de evaluación
- Elección del método discreto o continuo⁴:

5. **Proceso de calificación por secciones de la COA¹:** De los resultados obtenidos en la evaluación por expertos se obtiene 7 secciones: datos generales, materias primas, productos, equipos e combustión, equipos de proceso, ductos y chimeneas, emisiones, se

¹ La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente contempla la obligación de los estados y la federación de la realización de sus inventarios de emisiones (LGEEPA, 1996).

² Los errores técnicos son directamente relacionados a los métodos y a las tecnologías utilizadas para desarrollar la estimación de emisiones.

³ Un error de procedimiento es ocasionado por la carencia de gestión clara y efectiva esto no se limita a un entrenamiento inadecuado del personal si no también a la planificación inadecuada.

⁴ Si se conocen el número de alternativas y Criterios, se utiliza un método discreto; si éstas son infinitas, se utiliza uno continuo.

califica cada una de estas etapas en función de 3 criterios: de captura, técnicos, de ingeniería y diseño o estadístico.

- 6. Cálculo de emisiones:** La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos desarrolla y actualiza los factores de emisión. El AP-42 contiene las metodologías para el cálculo de emisiones y los factores² adecuados para cada proceso. La ecuación general para estimación de la emisión es:

$$E = A \times EF \times (1-ER/ 100) \quad (A.1)$$

Donde: E = Emisiones
 A = Dato de Actividad
 EF = Factor de la emisión³
 ER = Eficiencia de la reducción de la emisión global, %.

En la Tabla A.1 se muestra resumida la metodología del control de calidad para los datos de Inventarios de Emisiones.

Tabla A.1 Metodología del control de calidad para los datos de Inventarios de Emisiones.

Etapas del la evaluación del control	Características	Áreas prioritarias				
Paso 1. Definición del problema: Existe inconsistencia en los datos del inventario	Los dato recopilados tienen mala calidad ⁴	Planeaciones de inventarios de emisiones	Modelación de la calidad del aire	Indicadores de desempeño ambiental	Inventario de emisiones	Técnicos en inventarios de emisiones

Etapa de la evaluación del control	Características	Calificación	Criterios				
Conjunto de Paso 2. criterios a evaluar: Matriz de evaluación de expertos para calificar cada uno de los datos del inventario ⁵	Los criterios tratan de reflejar los problemas y necesidad de cada área	Es muy importante	Incluirlo en los objetivos	Útil para el inventario	Necesario considerarlo en el inventario	Afecta al inventario	Afecta al cálculo de las emisiones
		Si es importante					
		Algunas veces					
		Muy poco importante					

Teoría	Proceso Matemático	Análisis	Resultados
Paso 3 Análisis de las encuestas de expertos.	Acercamiento matemático para el análisis de imperfecciones, las inconsistencias y la carencia de datos (Z. Pawlak. 1991) (Komorowski, Z. Pawlak, L. Polkowski, and A. Skowron,, 1999)	El análisis se realiza a los datos que constituyen la base de datos para el cálculo indirecto del inventario de emisiones industriales.	La matriz nos permite analizar los datos imperfectos y los atributos de los datos, quitando los datos superfluos se mejora la calidad de los datos. Dicho proceso de refinamiento esta basado en el análisis de similaridad en los datos y a través de éste se eliminan datos superfluos y/o redundantes, se identifican los componentes más importantes de los datos y se detectan inconsistencias entre los expertos (Felix, et al. 2003).

¹ Cedula de Operación Anual utilizada como instrumento de regulación de las fuentes fijas

² Un factor de emisión representa la tasa que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera por la unidad de actividad. Estos factores normalmente como se expresa en peso de contaminante dividido por un peso de la unidad de actividad, volumen, distancia, o duración de la actividad.

³ El factor de emisión tiene algunas limitaciones esté no refleja la tecnología de la Zona de estudio, no es apropiado para hacer regulaciones, no refleja la temporalidad de las emisiones.

⁴ Se consideran de mala calidad por diversos aspectos errores humanos a la captura, falta de validación, uso de unidades diferentes o incorrectas, entre muchos otros

⁵ El objeto de generar criterio es para cuantificar el peso de las variables (Datos) en el inventario, los criterios fueron propuestos en función de los objetivos del inventario.

7. Resultados de la evaluación del control de calidad y caso práctico de aplicación

En la Tabla A.2 se presentan los resultados de la evaluación de expertos.

Tabla A.2. Calificaciones de los expertos en relación de los datos para el Inventario de Emisiones.

<i>Calificación de la base</i>	<i>Datos generales</i>	<i>Materias primas</i>	<i>Productos</i>	<i>Equipos de combustión</i>	<i>Equipos de proceso</i>	<i>Ductos y chimeneas</i>	<i>Emisiones</i>
5 criterios evaluados por expertos ¹	18.6	15	15.4	18.6	19.7	19.4	20.6
Calificación relativa	100	100	100	100	100	100	100

A.1. Ejemplo de aplicación.

El ejemplo de la evaluación de la calidad de los datos y cálculo del inventario de emisiones utilizando la metodología del Montufar, se aplica en el municipio de Naucalpan de Juárez del Estado de México.

El tipo de industria localizada son micro y grandes empresas. De acuerdo con la Dirección de Ecología del municipio de Naucalpan de Juárez, se tienen registradas 125 empresas. La forma de recolección de datos del proceso y emisiones atmosféricas, se realiza a través de la Cédula de Operación Anual. El año de reporte para el presente ejemplo es el 2002.

Calificación de la base de datos: Esta se aplicó la metodología resumida de la Tabla A.1. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura A.1, donde se aprecia la calificación relativa promedio de 54 %, y el error 46% lo que nos permite hacer mejoras con los resultados del control

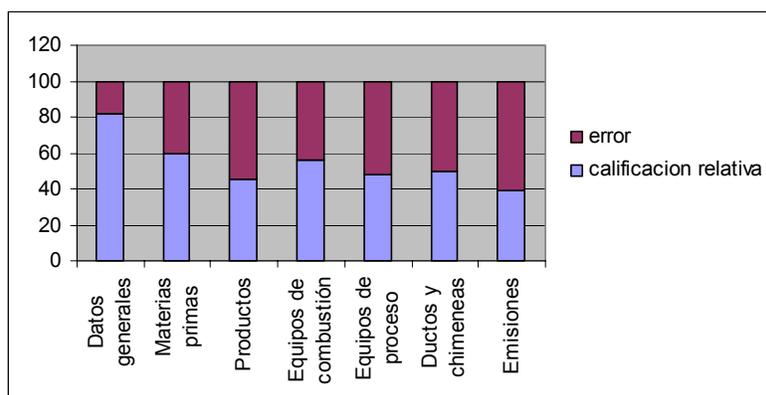


Figura A.1 Calificación relativa de la base de datos considerando los resultados de las encuestas de expertos para Inventario de Emisiones 2002 de Naucalpan.

¹ 1.-Incluirlo en los objetivos, 2.- Útil para el inventario, 3.- Necesario considerarlo en el inventario, 4.- Afecta al inventario, 5.- Afecta al cálculo de las emisiones

Los resultados de las desviaciones encontradas (errores) son:

- En la sección de datos generales no indican cual es su actividad principal y la clave CMAP, no cuentan con las coordenadas geográficas.
- En la sección de materias primas no reportan nombre de la materias primas y solo reportan las cantidades.
- Sección de productos solo reportan las cantidades.
- Sección de equipos de combustión no reportan la capacidad del equipo de combustión, el nombre del equipo de combustión, el tipo y el consumo de combustible y las horas de operación, lo mismo ocurre con los equipos de proceso.
- Para la sección de chimeneas no reportan adecuadamente el diámetro del la chimenea o ductos y la velocidad de los gases de salida y la temperatura de los gases.
- Para la sección de emisiones no reportan emisiones y en otros casos no reportan las unidades de medición.

El desarrollo del inventario con el control de calidad se realiza en tres niveles. El primer cálculo se realiza con los datos crudos sin ningún control, el segundo y el tercero ya con la corrección de las desviaciones encontradas principalmente por el consumo de combustible. En la Tabla A.3 se presentan los resultados y la evaluación del Inventario en el municipio de Naucalpan.

Tabla A.3. Inventario de emisiones totales en Ton/año para el municipio de Naucalpan para el año 2002.

Nivel del Control de Calidad		PM10	SOX	CO	NOX	COT
Sin Control	Primer cálculo	238	2	1431	8347	242
Con Control	Segundo cálculo	2.6	74.2	7.2	37.1	3.1
	Tercer cálculo	3.3	51.85	11.09	53.64	2.86

Con el tercer cálculo se realiza el Inventario por tipo de actividad industrial. Los resultados se presentan en la Tabla A.4.

Tabla A.4. Inventario final de emisiones en ton/año para el municipio de Naucalpan 2002.

Clasificación CMAP por Subsector (Giros industriales)	No de empresas	PM ₁₀	SO _x	CO	NO _x	COT
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	6	0.25	6.26	0.74	3.95	0.21
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	26	2.62	31.73	8.67	40.67	2.3
Industria de la madera y productos de madera	2	0	0	0	0	0
Productos de papel, imprentas y editores.	10	0.017	5.93	0.42	1.67	0.05
Fabricación de otras sustancias y productos químicos.	20	0.2	6.12	0.56	2.68	0.08
Prod. minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo).	4	0.02	0.27	0.08	0.54	0.02
Prod. metálicos, maquinaria y equipo (inc. instrum.quirúrgicos).	30	0.16	1.54	0.62	4.13	0.15
Otras industrias manufactureras.	2	0	0	0	0	0
Totales	100	3.3	51.85	11.09	53.64	2.8

Anexo B

Subsectores y ramas industriales

Tabla B1. Listado de subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos muestra de la base de datos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec.

SUBSECTOR		RAMA		Nº DE ESTABLECIMENTOS
31	Productos alimenticios bebidas y tabaco.	11	Industria de la carne	9
		12	Elaboración de productos lácteos	2
		13	Elaboración de conservas alimenticias incluye concentrados para caldos excluye las de carne y leche	4
		14	Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas	1
		15	Elaboración de productos de panadería	3
		17	Fabricación de aceites y grasas comestibles	4
		19	Fabricación de cocoa chocolate y artículos de confitería	2
		21	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano	7
		22	Elaboración de alimentos preparados para animales	3
		30	Industria de las bebidas	5

Tabla B1. Listado de subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos muestra de la base de datos de los municipios de Naucalpan, Tlalneptla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec (continuación).

SUBSECTOR		RAMA		Nº DE ESTABLECIMENTOS
32	Textiles prendas de vestir e industria del cuero.	11	Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo	2
		12	Hilado tejido y acabado de fibras blandas excluye de punto	24
		13	Confección con materiales textiles incluye la fabricación de tapices y alfombras de fibras blandas	3
		14	Fabricación de tejidos de punto	3
		20	Confección de prendas de vestir	6
		30	Industria del cuero pieles y sus productos incluye los productos de materiales sucedáneos excluye calzado y prendas de vestir de cuero piel y materiales sucedáneos	2
33	Industria de la madera y productos de madera incluye muebles.	3	Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera incluye colchones	3
		11	Fabricación de productos de aserradero y carpintería excluye muebles	1
34	Papel y productos de papel imprentas y editoriales.	10	Manufactura de celulosa papel y sus productos	30
		20	Manufactura de celulosa papel y sus productos	2
35	Sustancias químicas productos derivados del petróleo	12	Fabricación de sustancias químicas básicas excluye las petroquímicas básicas	52
		13	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas	1
		21	Industria farmacéutica	10
		22	Fabricación de otras sustancias y productos químicos	37
		40	Industria del coque incluye otros derivados del carbón mineral y del petróleo	7
		15	Industria del hule	15
60	Industria del hule	30		

Tabla B1. Listado de subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos muestra de la base de datos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec (continuación).

SUBSECTOR		RAMA		Nº DE ESTABLE-CI-MIENTOS
36	Productos minerales no metálicos excluye los derivados del petróleo y del carbón	12	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción	3
		20	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	5
		91	Fabricación de cemento cal yeso y otros productos a base de minerales no metálicos	10
37	Industrias metálicas básicas	10	Industria básica del hierro y del acero	20
		20	Industrias básicas de metales no ferrosos incluye el tratamiento de combustibles nucleares	25
38	Productos metálicos maquinaria y equipo incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	11	Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas	12
		12	Fabricación de estructuras metálicas tanques y calderas industriales incluso trabajos de herrería	3
		13	Fabricación y reparación de muebles metálicos	1
		14	Fabricación de otros productos metálicos excluye maquinaria y equipo	48
		21	Fabricación reparación y/o ensamble de maquinaria y equipo para fines específicos con o sin motor eléctrico integrado incluye maquinaria agrícola	4
		22	Fabricación reparación y/o ensamble de maquinaria y equipo para usos generales con o sin motor eléctrico integrado incluye armamento	5
38	Productos metálicos maquinaria y equipo incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	31	Fabricación y/o ensamble de maquinaria equipo y accesorios eléctricos incluye para la generación de energía eléctrica	8
		32	Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio televisión comunicaciones y de uso medico	2
		33	Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso domestico excluye los electrónicos	5
		41	Industria automotriz	27

Tabla B1. Listado de subsectores y ramas industriales de los 461 establecimientos muestra de la base de datos de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Tultitlán y Ecatepec (continuación).

SUBSECTOR		RAMA		Nº DE ESTABLECIMENTOS
39	Otras industrias manufactureras	00	Otras industrias manufactureras: <ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de joyas y orfebrería de oro y plata • Fabricación de artículos y útiles para oficina, dibujo y pintura artística • Fabricación de juguetes • Fabricación de escobas, cepillos y similares • Fabricación de otros productos no clasificados en otra parte 	13
41	Electricidad	00	Electricidad <ul style="list-style-type: none"> • Generación y transmisión de energía eléctrica 	2

Anexo C

Análisis estadístico percentil.

En el Capítulo 4 se desarrolló el control de calidad de los datos de la muestra. La Tabla C.1 muestra la información del análisis estadístico para el control de calidad de los datos. El resultado de este análisis fue el recalcular el consumo de energía por tipo de combustible para los datos atípicos.

Tabla C.1 Datos estadísticos del control de calidad de los datos por tipo de combustible.

Tipo de combustible	N*	Moda	Mediana	Mínimo percentil	Máximo percentil
GN	121	0.12	0.12	0.02	5,573.33
Diesel	121	121	124	10	10,527
GLP	195	72	72	23.43	783,322
Combustóleo	4	----	----	----	----
Gasóleo	20	722	722	163.66	729

* número de muestra

Para el caso del combustóleo los datos fueron considerados correctos, dado la cantidad de la muestra y la homogeneidad de los datos de consumo con la emisión de contaminantes. De esta forma la cantidad de energía consumida por este combustible en los establecimientos no fue recalculada.

La Figura C.1 muestra el análisis estadístico percentil a través de gráficas de caja de la relación de la emisión de PM_{10} entre la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible. Los datos fueron sometidos con el uso del paquete estadístico MINITAB.

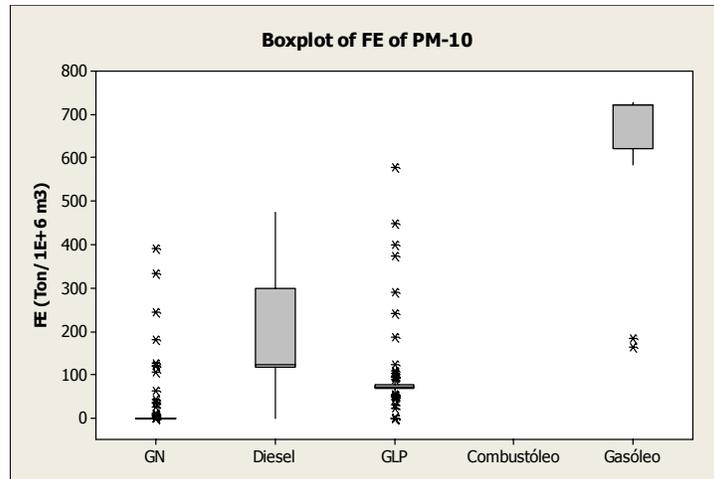


Figura C.1 Graficas de cajas de los percentiles de la de la relación de la emisión de PM_{10} entre la cantidad de combustible consumido.

Anexo D

Memoria de cálculo

Las relaciones matemáticas se desarrollaron con el paquete de Microsoft EXCEL. Los resultados presentados del estudio estadístico se desarrollaron utilizando el software MINITAB.

D.1 Nivel de sector industrial

En esta sección se presenta los resultados de las relaciones del consumo de energía y los parámetros estudiados (cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación) considerando el 100% de la muestra (461 establecimientos industriales).

La Figura D.1 muestra la relación de los datos del consumo de energía y producción total. En la Tabla D.1 del Análisis estadístico de Análisis de Varianza (ANOVA) de la relación de la producción total y consumo de energía, el valor de probabilidad (p) (0.000) proporciona suficiente evidencia de que la cantidad de producción no tiene relación con la cantidad de energía consumida considerando el 100% de la muestra cuando el nivel predeterminado de significancia (α) es 0.05.

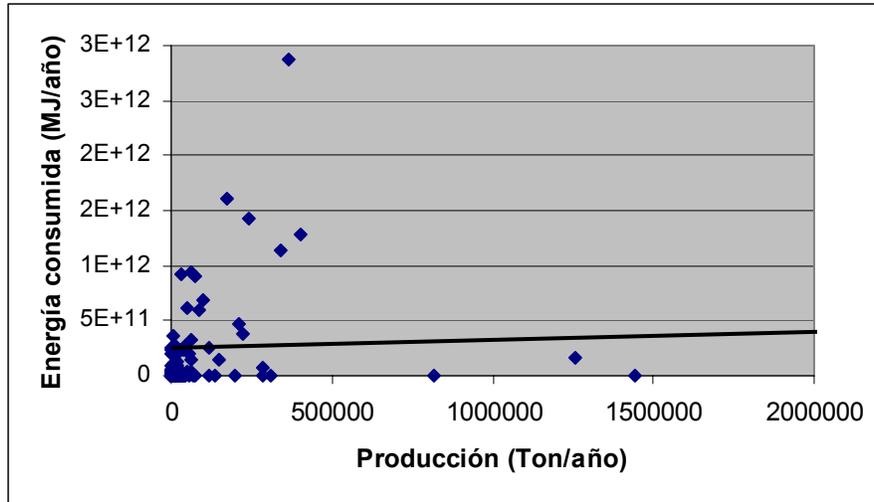


Figura D.1 Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del estado de México y producción (100% establecimientos).

Tabla D.1 ANOVA de la relación del consumo de energía y la producción total del 100% de la muestra.

One-way ANOVA: NE versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	4.69721E+14	2.24747E+12	43723.9	0.000
Error	1.49E+9	51401399		
Total	4.69723E+14			
S=7169		R-Sq=100%		$\alpha^5 = 0.05$

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

La Figura D.2 muestra la relación de los datos del consumo de energía y tiempo de operación. En la Tabla D.2 del ANOVA de la relación del consumo de energía y tiempo de operación, el valor p (0.001) proporciona suficiente evidencia de que la cantidad de producción no tiene relación con la cantidad de energía consumida considerando el 100% de la muestra cuando α es 0.05.

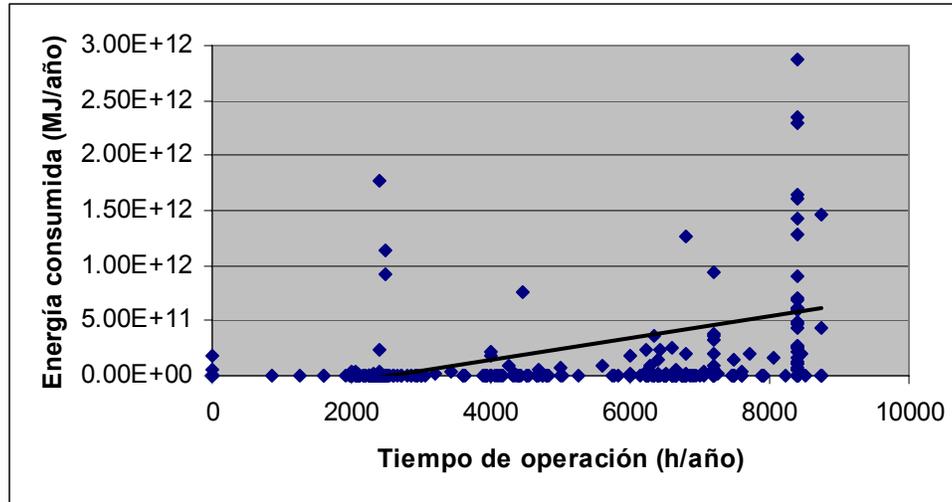


Figura D.2 Relación de energía consumida por los establecimientos industriales de la zona conurbada del Estado de México y tiempo de operación (100% establecimientos).

Tabla D.2 ANOVA de la relación del consumo de energía y tiempo de operación del 100% de la muestra.

One-way ANOVA: NE versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	4.69721E+14	2.24747E+12	43723.9	0.000
Error	1.49E+9	51401399		
Total	4.69723E+14			
S=7169	R-Sq=100%		$\alpha^5 = 0.05$	

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

D.2. Nivel de subsector industrial

Los resultados presentados son los del subsector de la producción de “Sustancias químicas productos derivados del petróleo y del carbón de hule y de plástico (SQPDP)”, que representa el 33% de la muestra.

Las Figura D.3 y D.4 muestra la relación de los datos del consumo de energía con el número de obreros y tiempo de operación respectivamente. En la Tablas D.3 y D.4 del ANOVA de la relación del consumo de energía con número de obreros y tiempo de operación respectivamente; el valor p (0.000) proporciona suficiente evidencia de que la

cantidad de producción no tiene relación con la cantidad de energía consumida considerando el 100% de la muestra cuando α es 0.05.

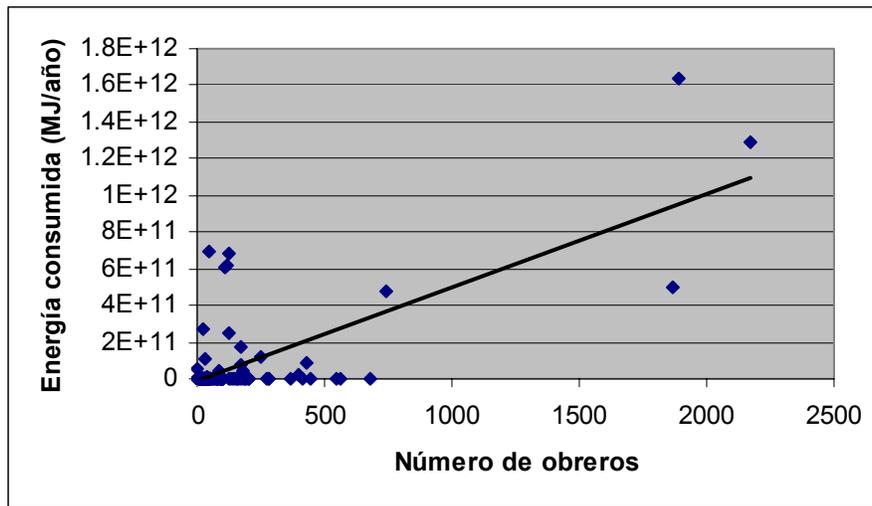


Figura D.3 Relación del consumo de energía con el número de obreros del subsector de SQPDP de los establecimientos conurbanos del Estado de México (33% de la muestra).

Tabla D.3 ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y número de obreros del subsector SQPDP.

One-way ANOVA: NE versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	12578388	96757	5.66	0.000
Error	359035	17097		
Total	12937423			
S=130.8	R-Sq=97.22%		$\alpha^5 = 0.05$	

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

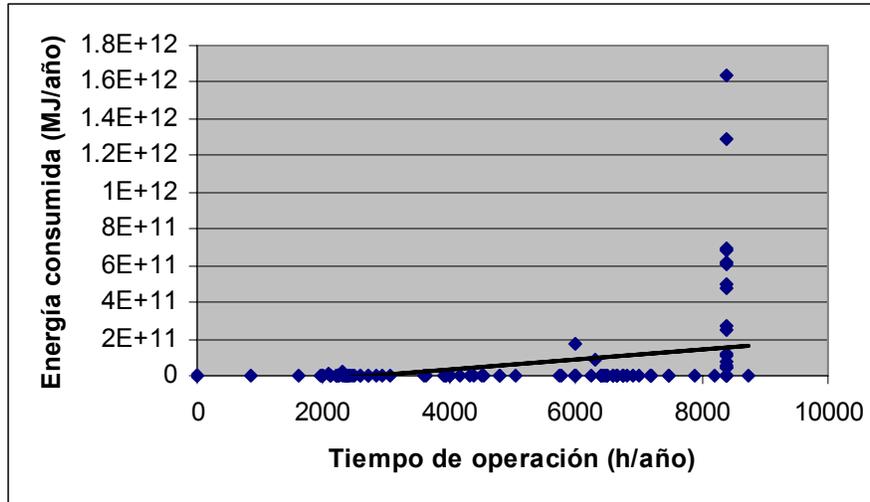


Figura D.4 Relación del consumo de energía con tiempo de operación del subsector de SQPDP de los establecimientos conurbanos del Estado de México (33% de la muestra).

Tabla D.4 ANOVA de la relación de la cantidad de energía consumida y tiempo de operación del subsector SQPDP.

One-way ANOVA: NE versus MJ/año				
Fuente	SS ¹	MS ²	F ³	P ⁴
MJ/año	915994263	7045110	1.41	0.000
Error	105314795	5014990		
Total	1021309058			
S=2239	R-Sq=89.69%		$\alpha^5 = 0.05$	

1. desviación estandar
2. cuadrado medio
3. prueba de Fridman
4. valor de probabilidad
5. valor de nivel predeterminado de significancia

D.3 Nivel de rama y actividad industrial

En la Tabla D.5 se presentan las ecuaciones matemáticas de la regresión lineal (método de los mínimos cuadrados) de las ramas y actividades industriales que se sometieron a la metodología del Capítulo 3 del presente trabajo y cuyos resultados de Indicadores Energéticos se presentan en el Capítulo 4.

Tabla D.5 Ecuaciones matemáticas de la relación de consumo de energía con los parámetros de cantidad de producción, número de obreros y tiempo de operación de 3 ramas y 8 actividades industriales.

Rama o Subsector		Relación de consumo de energía con parámetros	Ecuación matemática
Actividad industrial	Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares.	MJ/Ton de producción	$y = 1675.1x + 2E+06$
		MJ/# obreros	$y = 118224x - 139056$
		MJ/hrs. de operación	$y = 1308.8x - 3E+06$
	Fabricación de jabones, detergentes y dentífricos.	MJ/Ton de producción	$y = 3068.7x - 2E+10$
		MJ/# obreros	$y = 6E+08x - 1E+10$
	Fundición, laminación, extrusión, refinación y/o estiraje de aluminio.	MJ/Ton de producción	$y = 0.0014x^{1.9064}$
	Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos.	MJ/Ton de producción	$y = 917.7x + 477367$
		MJ/# obreros	$y = 5794.4x - 5E+06$
		MJ/hrs. de operación	$y = 557.93x^{1.2448}$
	Fabricación de productos farmacéuticos.	MJ/Ton de producción	$y = 8E+06\ln(x) - 4E+07$
		MJ/# obreros	$y = 92385x - 3E+06$
	Fundición y/o refinación de metales no ferrosos.	MJ/Ton de producción	$y = 9507.4x + 439602$
		MJ/# obreros	$y = 80384x + 3E+06$
		MJ/hrs. de operación	$y = 1606.1x + 1E+06$
	Galvanoplastia en piezas metálicas.	MJ/Ton de producción	$y = 4E+06\ln(x) - 2E+07$
Fabricación de laminados de acero.	MJ/Ton de producción	$y = 6E+06\ln(x) - 3E+07$	
	MJ/# obreros	$y = 8E+06\ln(x) - 8E+06$	
Rama industrial	Industria de la carne.	MJ/Ton de producción	$y = 577.35x + 511007$
	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano.	MJ/Ton de producción	$y = 1381.1x - 2E+08$
	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos incluye para la generación de energía.	MJ/Ton de producción	$y = 4E+06\ln(x) - 2E+07$
MJ/hrs. de operación		MJ/hrs. de operación	