



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

## **Inventario de emisiones para la ciudad de La Paz, Baja California Sur**



Coordinación:  
Alfredo Sergio Bermúdez Contreras

2016



Participantes: Alfredo Bermúdez, Antonina Ivanova, Adolfo de la Peña, Ana Bermúdez, Esthela Casillas, Pierrette Landa, Yuma Pérez, Briseyda Lucero

Fotografía: Alfredo Bermúdez

# **Inventario de emisiones para la ciudad de La Paz, Baja California Sur**

## **Resumen**

En este trabajo se llevó a cabo la elaboración de un inventario de contaminantes criterio para el año 2013 para La Paz y áreas cercanas que tienen influencia sobre la calidad del aire en la ciudad. Los contaminantes inventariados son: óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras y a 2.5 micras, y compuestos orgánicos volátiles. Para la elaboración del inventario se clasificó el origen de los contaminantes en cuatro fuentes: fijas, móviles, de área y naturales. Las emisiones totales resultantes fueron de 55 381 toneladas, de las cuales el 88% provinieron de categorías relacionadas con el uso de energía. Por ello fue necesario primeramente realizar un balance energético que indica que durante 2013 en La Paz se utilizaron 25 940 TJ de energía, distribuidos en tres categorías de uso energético: generación de electricidad, energía para transporte y producción de calor. La generación de electricidad fue el principal rubro de consumo energético con un 53% del total para La Paz; el combustóleo fue principal energético en el balance total y abasteció el 50% de todo el consumo de energía local. La categoría de fuentes fijas de emisiones incluyó a las dos centrales eléctricas de la zona, la cuales tuvieron de manera combinada un total de 30 546 toneladas (55% del total). Las fuentes fijas fueron el mayor emisor total así como de óxidos de azufre y nitrógeno y de materiales particulados. Las fuentes móviles (27% del total) tuvieron las emisiones más elevadas de monóxido de carbono mientras que las fuentes de área (10% del total) y naturales (8% del total) fueron de manera muy cercana los principales liberadores de compuestos orgánicos volátiles. El trabajo del inventario resalta la importancia de la implementación de medidas de control de emisiones, ya que existe un gran potencial de para lograr reducciones.

# Contenido

Resumen .....	4
1 Panorama general .....	12
1.1 La Paz y sus alrededores .....	12
1.1.1 Población, actividad y servicios .....	12
1.1.1 Geografía y fisiografía .....	13
1.1.2 Geología .....	15
1.1.3 Edafología .....	15
1.1.4 Hidrología .....	15
1.1.5 Clima y fenómenos meteorológicos .....	16
1.1.6 Flora .....	17
1.1.7 Fauna .....	18
1.1.8 Aéreas naturales protegidas .....	18
1.2 Antecedentes de la calidad del aire en La Paz .....	20
1.3 Objetivo del inventario de emisiones para la ciudad de La Paz .....	26
1.4 Integración del inventario .....	26
1.4.1 Cobertura espacial .....	26
1.4.2 Año base .....	28
1.4.3 Población en el área de estudio .....	28
1.4.4 Balance energético .....	29
1.4.5 Metodología para la estimación de emisiones .....	30
1.4.6 Fuentes y emisiones .....	32
2 Balance energético de La Paz .....	36
2.1 Usos y fuentes de la energía .....	36
2.2 Generación de electricidad .....	37
2.2.1 Fuentes de energía para generación de electricidad .....	38
2.2.2 Usos de la electricidad .....	40
2.3 Transporte .....	41
2.3.1 Fuentes de energía .....	44
2.4 Calor .....	47
2.5 Balance energético .....	48
3 Inventario de emisiones .....	52
3.1 Fuentes fijas .....	52
3.1.1 Metodología .....	52
3.1.2 Densidad y poder calorífico de los combustibles .....	53
3.1.3 CT Punta Prieta .....	54
3.1.4 CCI Baja California Sur .....	61
3.1.5 Emisiones totales de fuentes fijas .....	69

3.2	Fuentes móviles .....	73
3.2.1	Generalidades .....	73
3.2.2	Antecedentes de la estimación de emisiones de fuentes móviles en México .....	73
3.2.3	Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013.....	74
3.2.4	Estimación mediante factores de emisión.....	78
3.3	Fuentes de área .....	87
3.3.1	Metodología.....	88
3.3.2	Combustión en fuentes estacionarias .....	88
3.3.3	Fuentes móviles que no circulan por carreteras .....	91
3.3.4	Uso de solventes .....	96
3.3.5	Almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo.....	97
3.3.6	Fuentes industriales ligeras y comerciales.....	99
3.3.7	Manejo de residuos .....	103
3.3.8	Agricultura .....	104
3.3.9	Emisiones totales de fuentes de área .....	105
3.4	Fuentes naturales.....	109
3.4.1	Vegetación local .....	110
3.4.2	Metodología.....	110
3.4.3	Emisiones de fuentes biogénicas.....	114
3.5	Emisiones agregadas de todas las fuentes .....	117
4	Conclusiones .....	126
	Referencias bibliográficas .....	130
	Anexo .....	135
	Fuentes de área .....	136
	Fuentes biogénicas .....	140

# Lista de Figuras

Figura 1 Vista nocturna de La Paz.....	20
Figura 2 Crecimiento de la huella urbana de La Paz.....	23
Figura 3 Zona de estudio: La Paz y zonas colindantes.....	28
Figura 4 Usos de la energía en La Paz por categoría.....	30
Figura 5 Emisiones totales en La Paz 2013 por contaminante y fuente.....	34
Figura 6 Infraestructura de generación y transmisión de electricidad en BCS.....	37
Figura 7 Distribución del consumo eléctrico por sector tarifario en La Paz para 2013.....	41
Figura 8 Ventas históricas de gasolinas per cápita en Baja California Sur y en el país.....	42
Figura 9 Tasa de motorización en el municipio de La Paz (Incluye motocicletas).....	42
Figura 10 Crecimiento del parque vehicular municipal y la superficie de la ciudad.....	43
Figura 11 Distribución del parque vehicular de La Paz por modelo (año) 1990-2016.....	44
Figura 12 Contribución porcentual en el uso de la energía en La Paz 2013.....	49
Figura 13 Diagrama de Sankey del balance energético de La Paz 2013.....	50
Figura 14 Funcionamiento del SCR.....	63
Figura 15 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes fijas.....	70
Figura 16 Comparación de emisiones producidas y electricidad generada.....	71
Figura 17 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes móviles.....	78
Figura 18 Emisiones de fuentes móviles para La Paz 2013. Comparación de resultados.....	84
Figura 19 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes de área.....	106
Figura 20 Emisiones de las fuentes de área por contaminante y por categoría.....	107
Figura 21 Contribución porcentual a las emisiones agrícolas por cultivo.....	116
Figura 22. Diagrama de Sankey de las emisiones en La Paz en 2013.....	120
Figura 23 Contribución por fuente y contaminante a las emisiones totales.....	121
Figura 24 Distribución de las emisiones totales de SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> por fuente.....	122
Figura 25 Distribución de las emisiones totales de PM 10 y PM 2.5 por fuente.....	123
Figura 26 Distribución de las emisiones totales de CO y COV por fuente.....	124

# Lista de Tablas

Tabla 1 Parque de generación en Baja California Sur 2015.....	39
Tabla 2 Consumo de combustibles de las centrales ubicadas en La Paz durante 2013. ....	39
Tabla 3 Generación, ventas y balance neto de electricidad por municipio en 2013.....	40
Tabla 4 Estimación del consumo de combustibles para transporte en La Paz en 2013. ....	46
Tabla 5 Estimación del consumo de gas LP en La Paz 2013.....	47
Tabla 6 Poder calorífico y densidad de combustibles para generación de electricidad. ....	53
Tabla 7 Eficiencia reportada del sistema de control de emisiones. ....	55
Tabla 8 Especificaciones de los equipos de combustión y consumo de combustible.....	56
Tabla 9 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para calderas.....	57
Tabla 10 Factores de emisión tomados de AP 42 para turbinas de gas. ....	59
Tabla 11 Emisiones de la CT Punta Prieta en 2013. ....	60
Tabla 12 Especificaciones de los equipos de combustión y consumo de combustible.....	64
Tabla 13 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para grandes motores de combustión interna.....	65
Tabla 14 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para calderas empleando diésel. ...	67
Tabla 15 Emisiones de la CCI Baja California Sur en 2013. ....	68
Tabla 16 Emisiones totales de fuentes fijas.....	70
Tabla 17 Características de los combustibles utilizadas para la estimación de contaminantes en La Paz en 2013. ....	77
Tabla 18 Contenido de azufre de los combustibles para el inventario nacional de fuentes móviles INECC 2013. ....	77
Tabla 19 Clasificación de vehículos.....	79
Tabla 20 Factores de emisión reportados por Chester et al. (2008) para verano y su conversión a unidades métricas. ....	80
Tabla 21 Emisiones de fuentes móviles.....	82
Tabla 22 Factores de emisión empleados y emisiones totales para fuentes móviles en La Paz 2013.....	83
Tabla 23 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para la combustión de gas LP por sector.....	90
Tabla 24 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para fuentes móviles que no circulan por carretera. ....	95
Tabla 25 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para uso de solventes. ....	97
Tabla 26 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para el almacenamiento, transporte y distribución de gasolinas, diésel y gas LP. ....	99
Tabla 27 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para fuentes industriales ligeras y comerciales.....	102
Tabla 28 Datos de actividad, factor de emisión y emisiones totales del tratamiento de aguas residuales. ....	103
Tabla 29 Emisiones de PM 10 por labranza agrícola. ....	105
Tabla 30 Emisiones totales de fuentes de área. ....	107

Tabla 31 Usos del suelo municipal. ....	111
Tabla 32 Superficie sembrada en el municipio por tipo de cultivo. ....	112
Tabla 33 Emisiones anuales por tipo de cultivo. ....	114
Tabla 34 Flujos estandarizados de emisión de COV para los principales cultivos en el municipio de La Paz. ....	115
Tabla 35 Emisiones biogénicas totales (cultivos y matorral). ....	117
Tabla 36 Emisiones totales por fuente y contaminante para La Paz 2013. ....	117
Tabla 37 Factores GOR/GOT para fuentes móviles que no circulan por carretera. ....	136
Tabla 38 Factores GOR/GOT para uso de solventes. ....	137
Tabla 39 Factores GOR/GOT para almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo. ....	138
Tabla 40 Factores GOR/GOT para fuentes industriales ligeras y comerciales. ....	139

## Acrónimos, abreviaturas y unidades

µg	Micro gramo
ANP	Área Natural Protegida
AP 42	Compilación de factores de emisión de la EPA
BCS	Baja California Sur
BEIS	Biogenic Emission Inventory System
bl	Barril
BTU	British thermal unit
CCI	Central de combustión interna
CEC	Comisión para la Cooperación Ambiental
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CO	Monóxido de carbono
COA	Cedula de operación anual
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CT	Central termoeléctrica convencional (vapor)
EPA	Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos
gal	Galón
GOR	Gases orgánicos reactivos
GOT	Gases orgánicos totales
h	Hora
ha	Hectárea
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
kg	Kilogramo
kPa	Kilo Pascal
KVR	Kilómetro-vehículo recorrido
L	Litro
lb	Libra
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Mg	Megagramo (1 Mg = 1 t = 1000 kg)
mg	Miligramo (1 mg = 0.001 g)
MOVES	Motor Vehicle Emission Simulator
MVR	Milla-vehículo recorrida
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt hora
NOx	Óxidos de nitrógeno
PEA	Población económicamente activa
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIMUS	Plan de movilidad urbana sustentable
PM 10	Material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras
PM 2.5	Material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micras
ProAire	Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire

RLGEEPAMPCCA	Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera
s	Segundo
SC	Seco cálido
SCEA	Sistema de control de emisiones a la atmósfera
SCR	Reducción catalítica selectiva ( <i>Selective catalytic reduction</i> )
SDSE	Seco desértico semicálido
SE	Seco estepario
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SINAICA	Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
SM	Secretaría de Marina
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de azufre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre
SSA	Secretaría de Salud
t	Tonelada
TIM	Tiempo en modo
TS	Templado seco
UNEME	Unidad de Especialidades Médicas en Enfermedades Crónicas
WebFIRE	Web Factor Information Retrieval System
WGA	Asociación de Gobernadores del Oeste ( <i>Western Governors Association</i> )

# 1 Panorama general

## 1.1 *La Paz y sus alrededores*

### 1.1.1 Población, actividad y servicios

La ciudad de La Paz es la cabecera del municipio del mismo nombre y capital del estado de Baja California Sur (BCS). Este estado es el segundo menor en población en México (712 029 habitantes, (INEGI 2015)) y tiene la menor densidad poblacional en el país (9.46 habitantes por km<sup>2</sup>). Sin embargo, la mayor parte de la población (86%) se concentra principalmente en entornos urbanos. La Paz es el segundo municipio más poblado en el estado con 272 711 habitantes, superado solamente por Los Cabos, el cual tiene 287 671 habitantes (INEGI 2015b). En la ciudad de La Paz se concentra la gran mayoría de esta población y es también sede principal de dependencias del gobierno estatal y federal.

También, BCS cuenta con la extensión costera más grande del país, lo cual ha influido fuertemente en el tipo de actividades que se desarrollan en este estado, muchas de ellas ligadas directa o indirectamente al mar. En particular, las costas del Océano Pacífico y del Mar de Cortés en el municipio de La Paz, son de gran importancia para el desarrollo de las actividades que sustentan a los paceños, (comercio marítimo, pesca y actividades relacionadas al turismo y los servicios). Aunque en el municipio también se desarrollan algunas actividades agrícolas y pecuarias en los valles y sierras, para la ciudad de La Paz el Mar de Cortés tiene una importancia preponderante. De esta forma, de la población económicamente activa, el 68.35% se desempeña en servicios, como comercio y turismo; el 22.74% en el sector secundario como minería, industria manufacturera, construcción y electricidad, y en menor grado el sector primario con 5.43% en actividades como agricultura, ganadería, caza y pesca (Ivanova Boncheva et al. 2013)

La población alfabetizada en La Paz alcanza un alto porcentaje (97.3%). En la ciudad tienen también su sede algunas de las principales instituciones de educación que incluyen, entre otras, universidades e institutos donde se confieren títulos profesionales y de posgrado. Asimismo, en la ciudad se concentran importantes centros de servicios de salud como los del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y de la Secretaría de Salud estatal. Por ejemplo, municipio de La Paz se cuenta con 35 centros SSA, 4 Centros de IMSS y 9 del ISSSTE (SDEMARN 2016). Además, en La Paz también existen centros de servicios de salud de la Secretaría De Marina (SEMAR) y de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) así como servicios privados.

Al 2015, en el municipio de La Paz se tenían 82 919 viviendas particularidades habitadas de las cuales el 98.63% cuenta con energía eléctrica, el 96.20% con agua entubada y el 98.32% con drenaje. En las viviendas, el 96.54% con de materiales como tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto; los techos son en su mayoría (87.47%) de concreto o de vigueta con bovedilla (INEGI 2015a).

En cuanto a vías de comunicación, La Paz se encuentra conectada por vía terrestre a todo el Estado a través de la Carretera Transpeninsular. Además, en la ciudad se localiza el Aeropuerto Internacional Gral. Manuel Márquez de León y el Puerto de Altura de Pichilingue (Moreno Gómez 2012).

### 1.1.1 Geografía y fisiografía

La ciudad de La Paz se localiza en los 24° 09' latitud norte y 110°19" longitud oeste, a una altura de 30 msnm. El municipio de La Paz limita al norte con el municipio de Comondú, al sur con el de Los Cabos, al oeste con el Océano

Pacífico y al este con el Golfo de California. Sus litorales ocupan el 26% del total de la superficie de BCS.

Uno de los rasgos físicos más notables de la zona de La Paz es la península de “El Mogote”, ubicada dentro de la bahía de La Paz y que a su vez forma la Ensenada de La Paz, la cual protege a la laguna costera de la Ensenada de La Paz. El municipio de La Paz tiene una superficie total de 15397.3 km<sup>2</sup>, que es equivalente al 21% del total del territorio del estado (INAFED 2015).

La Bahía de La Paz cuenta con una área de aproximadamente 1972 km<sup>2</sup> (Álvarez Arellano et al. 1989) y es uno de los cuerpos costeros más grandes en el Golfo de California. Su litoral se extiende desde Punta Mechudo hasta Punta Las Pilitas. Las principales localidades se distribuyen en campos pesqueros en la costa y en la zona urbana de la ciudad de La Paz (Velasco García 2009). El relieve que rodea la bahía de La Paz es diverso, predominando las montañas de altura media y las planicies aluviales. Como típicamente ocurre en los desiertos, existen cañones con paredes escarpadas y amplios valles aluviales, con intensa ramificación de tributarios (López López 2013).

Entre los sistemas orográficos más importantes que recorren el municipio se encuentran la Sierra de la Giganta, que es una serranía que recorre el estado de Baja California Sur de norte a sur y que al llegar al municipio de La Paz tiene una altitud de 250 msnm. Al sureste del territorio se localiza la Sierra de la Laguna con una altitud máxima de 2080 msnm, la cual constituye la mayor elevación del estado. Además, también se encuentran en el municipio elevaciones menores como los cerros El Puerto y El Mechudo (INAFED 2015).

### 1.1.2 Geología

La bahía de La Paz se asocia con un medio graben que continua hasta llegar a tierra firme para dar lugar al valle de La Paz/El Carrizal (López López 2013). En la región predominan los afloramientos de rocas sedimentarias y volcanoclásticas del periodo Mioceno, además de depósitos continentales y marinos del cuaternario (López López 2013; Velasco García 2009). Existen dos formaciones principales en la zona, la formación El Cien y la formación Comondú (Velasco García 2009).

### 1.1.3 Edafología

El municipio de La Paz se constituye por cuatro tipos de suelo, en las orillas por aluviales (fluvisoles); en la parte norte-central y en pequeñas áreas en la parte sur se trata de suelos derivados de cenizas volcánicas; una zona al sur de terrenos litosoles y regosoles; y el resto son suelos aridosoles (INAFED 2015).

### 1.1.4 Hidrología

La Ciudad de La Paz se ubica en la Región Hidrológica No. 6 la cual a su vez está conformada por cinco subcuencas determinadas por los arroyos El cajoncito, La Huerta, La Ardilla, La Palma y El Novillo. La ciudad se abastece de agua desde el acuífero como fuente única. Debe mencionarse que este acuífero se encuentra en condiciones de sobre-explotación (Carrillo Guerrero 2010). Los arroyos que disectan la subprovincia de la Sierra La Giganta (en la que se encuentra La Paz) forman escurrimientos de régimen intermitente de corta trayectoria, que desembocan en la Bahía de La Paz. El patrón de drenaje predominante es el de tipo dendrítico (Velasco García 2009).

### 1.1.5 Clima y fenómenos meteorológicos

El municipio de La Paz, como el resto del estado de Baja California Sur, se caracteriza por la escasez de precipitación. Generalmente, la temporada de lluvias se presenta durante los meses de julio, agosto, septiembre, y en algunas ocasiones puede haber lluvias ligeras en diciembre y enero. La precipitación promedio anual en la costa noroeste es inferior a los 100 mm, y se eleva de manera sucesiva hacia la serranía central formando franjas de 100-200 mm, 200-300 mm, y 300-400 mm, y subiendo en las elevaciones de la Sierra de la Laguna desde los 400 hasta superior a los 600 mm (INAFED 2015; INEGI 2007).

En la Bahía de La Paz Se reporta una evaporación promedio anual de 215 mm y una humedad relativa entre 62% y 70%. En cuanto al desplazamiento de los vientos, durante abril hasta octubre por las mañanas predominan aquellos con direcciones del sureste y del suroeste por la tarde, mientras que el resto del año se presentan vientos con direcciones del noroeste y del sur (Velasco García 2009).

BCS tiene un ambiente predominantemente árido. En el estado se tienen seis climas de los cuales el muy seco semicálido se tiene en el 63% del territorio estatal; el muy seco muy cálido y cálido, en el 29%; el seco semicálido, en el 4%; el seco templado, en el 3%; y en el restante 1% se tienen los climas templado subhúmedo con lluvias en verano y el seco muy cálido y cálido (SDEMARN 2016). Específicamente el municipio de La Paz presenta climas distintos en la costa del Golfo de California y en la del Océano Pacífico, encontrándose presentes el seco-semicálido, muy seco-semicálido, muy secoscálido y cálido (INAFED 2015).

En estos climas la temperatura media anual se encuentra entre los 22 y 24 °C. En la Bahía de La Paz la media mensual más alta fluctúa entre los 27 y los 30 °C; esto sucede en los meses de agosto y septiembre. Por el contrario, la temperatura media más baja que se registra es de aproximadamente 17 °C en el mes de

enero. En 2015, la temperatura máxima registrada en el municipio fue de 46 °C y la mínima de -1 °C (SDEMARN 2016).

#### 1.1.6 Flora

La vegetación en BCS pertenece al tipo Desierto Sonorense. Aquí se encuentran matorrales xerófilos (sarcocaula, sarcocrasicaule de neblina, desértico micrófilo, crasicaule y mezquital) además de otros tipos de vegetación correspondientes al desierto (vegetación halófila y vegetación de desiertos arenosos, como los localizados en el Desierto de San Sebastián Vizcaíno). Asimismo, la selva baja caducifolia se presenta en la parte sur del estado (por ejemplo, en la Sierra de San Lázaro). En climas de mayor altitud (templado), se pueden encontrar también bosques de encino y pino-encino (Ivanova et al. eds 2012).

Para el área del municipio de La Paz es posible localizar cuatro tipos de vegetación, siendo predominantes los matorrales, que se caracterizan por grandes cactáceas de tallos carnosos cilíndricos o aplanados, como: cardón (*Pachycereus pringlei*), yuca (*Yucca* sp.), biznaga (*Echinocactus* sp.), choya (*Cylindropuntia cholla*), pitahaya (*Stenocereus thurberi*, *Hylocereus* sp.), palo de Adán (*Fouquieria diguetii*), garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y jojoba (*Simmondsia chinensis*).

En segundo lugar está la vegetación de la selva baja, la cual se determina por árboles de menos de 15 metros de altura. Las especies que la componen se encuentran en la vertiente oriental, la cual presenta mayor precipitación, y las especies más características son: torote (*Bursera* sp.), palo de Adán, lomboy (*Jatropha*), palo verde (*Parkinsonia* sp.), palo blanco (*Lysiloma candidum*), cardón, choya, gobernadora, pitahaya y jojoba.

Por último, en la parte alta de la Sierra de la Laguna, donde la precipitación llega a sobrepasar los 600 milímetros anuales, crecen los bosques de pino y encino en proporciones variables, siendo las especies dominantes el encino negro (*Quercus* sp.), encino roble, pino piñero (*Pinus* sp.), madroño (*Arbutus* sp.) y sotol (*Dasyliirion* sp) (INAFED 2015).

### 1.1.7 Fauna

En las llanuras donde existe escasa vegetación se localizan varias especies de aves, roedores, carnívoros y herbívoros, como son la codorniz (*Coturnix coturnix*), la huilota (*Zenaida macroura*), liebre (*Lepus* sp.), conejo (*Sylvilagus*), coyote (*Canis latrans*) y zorra (*Vulpini* sp.). En las regiones desérticas, generalmente se localizan animales como la paloma torcaza (*Columba palumbus*), mapache (*Procyon* sp.), babisuri (*Bassariscus astutus*), gato montés (*Lynx rufus*), y también coyote y zorra. En cuanto a las aves, destacan el águila (*Aquila chrysaetos*), zopilote, gavián, lechuza y cuervo.

En las sierras más altas se encuentran animales como la paloma de collar (*Streptopelia decaocto*), venado bura, zorrillo, zorra y puma. También existen innumerables reptiles como lagartijas, iguanas y diferentes especies de víboras entre las que destacan la cascabel, la sorda, el falso coralillo y la chirrionera.

### 1.1.8 Aéreas naturales protegidas

El municipio de La Paz tiene dentro de su territorio diversas Áreas Naturales Protegidas (ANP). Estas son: Reserva de la Biósfera Sierra de la Laguna, compartida con el municipio de Los Cabos (112 437 ha); Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo (48 454 ha), Islas del Golfo de California (69 088 ha), y el Área de Protección de Flora y Fauna Balandra (2 513 ha) (SPYDE 2015).

La Reserva de la Biósfera Sierra de la Laguna es parte de una cadena montañosa, de la cual la Reserva abarca 48 km de largo y aproximadamente 20 de ancho. La Sierra de la Laguna contiene el único bosque de pino-encino en Baja California Sur y por lo tanto es considerada como una isla de vegetación en el entorno árido característico de la península (CONANP 2003). Esta ANP forma parte de la Red Mundial de Reservas de la Biósfera protegidas por la UNESCO.

En el caso del Parque Nacional del Archipiélago Espíritu Santo, se trata de un sitio con gran riqueza en términos de biodiversidad que aloja especies de plantas y animales únicos en el mundo. Además posee una amplia diversidad de hábitats, y es posible encontrar vestigios de pobladores ancestrales (SPYDE 2014b). Este Parque forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, que incluye a más de 900 islas e islotes. El archipiélago se compone por dos islas mayores que son La Partida y Espíritu Santo, y por tres islotes llamados La Ballena, El Gallo y La Gallina. En conjunto la extensión del archipiélago es aproximadamente de 105 km<sup>2</sup> (CONANP 2016).

El ANP de Balandra fue decretada recientemente (2012), y está conformada por dos polígonos generales: el polígono general Balandra y el polígono general Ensenada Falsa. Esta zona presenta un ecosistema de humedal costero rodeado de desierto sarcocaula perteneciente al Desierto Sonorense. Dentro de los elementos que colocan a Balandra como un sitio con gran importancia ecológica están los manglares que rodean la laguna. Además de esto, Balandra representa un sitio de importancia en México por sus valores biológicos, paisajísticos y sociales (CONANP 2016).

## 1.2 Antecedentes de la calidad del aire en La Paz



**Figura 1 Vista nocturna de La Paz.**

Como se mencionó anteriormente, la ciudad de La Paz es la capital del estado de Baja California Sur (BCS) y es también la cabecera del municipio con el mismo nombre. Esta ciudad concentra gran parte de las instancias gubernamentales, instituciones de educación y centros de salud del estado. Entre sus características se encuentran el tener una ubicación costera en una zona semiárida de clima desértico con potencial económico mediano (la mayor parte del crecimiento económico es por concepto de los servicios; el desarrollo de la industria y la agricultura afronta la fuerte limitante de la escasez de agua), con desarrollo social alto, tamaño mediano y tasa de crecimiento mediana (Ivanova Boncheva et al. 2013).

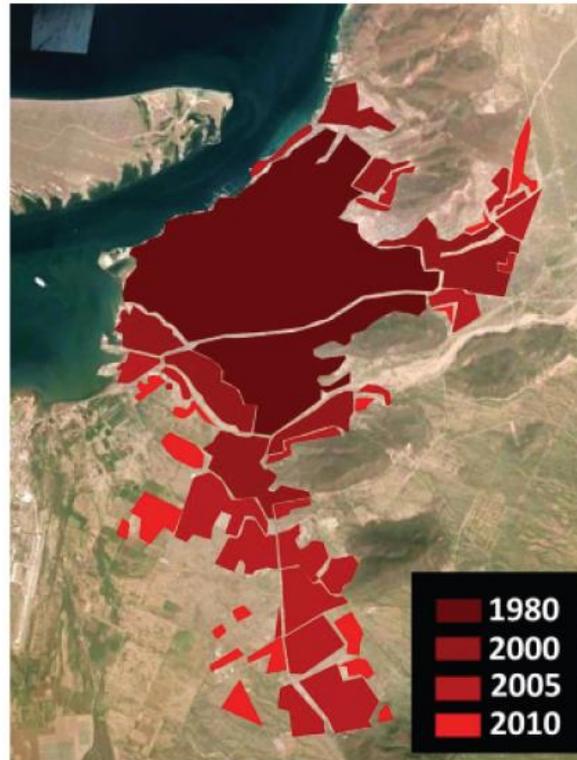
De los años 1950 a 2010, la población de la ciudad de La Paz ha crecido a tasas elevadas, lo cual denota una comunidad en movimiento por migraciones. Las

proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) estiman que la ciudad de La Paz tendría una población de 233 559 habitantes en 2013 (CONAPO 2015a). El incremento poblacional acelerado representa un desafío para lograr una planificación adecuada del crecimiento urbano (ver Figura 2) que propicie un desarrollo sostenible. Asimismo, la escasa planificación para el crecimiento y ordenamiento urbano ha ocasionado diversos problemas incluyendo el incremento de las emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire.

Al respecto, estudios experimentales realizados tanto en animales como en seres humanos, así como un gran número de estudios epidemiológicos, han mostrado que los niveles actuales de contaminación atmosférica de origen antropogénico producen enfermedad y mortalidad en los seres humanos. Se ha encontrado también que los efectos a corto plazo de diferentes contaminantes ambientales están más relacionados con incrementos sustanciales en los niveles de dichos contaminantes en el ambiente que con la exposición prolongada a niveles bajos o medios de contaminación (Pope et al. 2006; Samet et al. 2000). Los daños a la salud producidos por estas contingencias ambientales pueden estimarse con base en los niveles alcanzados por cada contaminante y en la población expuesta y susceptible a esta contaminación. Si bien toda la población es susceptible a la contaminación, los efectos a corto plazo producidos por una contingencia ambiental serán más notorios en niños y adultos mayores.

De esta forma, cada vez más se incrementa la preocupación por valorar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública. Estas valoraciones consisten en observar los resultados obtenidos en investigaciones y elaborar una cuantificación aproximada del problema para la salud de una determinada zona, país o ciudad, que pueda atribuirse a la contaminación atmosférica. También pueden utilizarse para obtener una cuantificación aproximada de los beneficios que podrían conseguirse si se establecieran las políticas de reducción de la contaminación atmosférica.

Entre las fuentes de emisiones contaminantes identificadas en La Paz destacan primeramente el elevado número de vehículos en relación al tamaño de la ciudad. El diagnóstico de movilidad elaborado dentro del Plan de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS) de La Paz (Idom 2014) precisó una tasa de motorización en el municipio considerando solamente vehículos registrados de 597 unidades por cada 1000 habitantes y, mediante una estimación de los vehículos irregulares sin registro, ubicó la tasa de motorización en 1.27 vehículos por habitante, es decir, que existen más vehículos que personas. Esta tasa es de las más elevadas a nivel mundial (Idom 2014) y tiene implicaciones en la cantidad de combustibles consumidos y en las consecuencias que de ello se desprenden tales como las correspondientes emisiones de escape, la evaporación de combustibles o el levantamiento de polvo al circular. Además, el parque vehicular en La Paz está constituido principalmente por vehículos viejos e ineficientes, donde más del 70% corresponde a vehículos de más de 10 años de antigüedad como se verá más adelante (secciones 2.3 y 3.2). Indudablemente, esta condición agudiza el problema de las emisiones a la atmósfera resultantes del uso del elevado número de vehículos.



**Figura 2 Crecimiento de la huella urbana de La Paz.**  
**Fuente: (Idom 2014).**

Simultáneamente, otras fuentes de emisiones de gran importancia son las centrales de generación de electricidad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ubicadas localmente: la Central de Combustión Interna (CCI) Baja California Sur y la Central Termoeléctrica (CT) Punta Prieta. La cantidad de electricidad producida en estas plantas es considerablemente mayor a las necesidades de La Paz como se verá en la sección 2.2 y el exceso generado se destina a abastecer las necesidades eléctricas de otras partes del estado. Entre otras consecuencias, esto implica que en las cercanías de La Paz se libera a la atmósfera una cantidad de contaminantes que no va en proporción con el consumo local de electricidad. A su vez, esto se ve agravado por el tipo de insumos empleados, ya que el principal combustible utilizado en la generación de electricidad en La Paz y en el estado en general es combustóleo con un alto contenido de azufre.

Entonces, al considerar en combinación las emisiones ocasionadas por el alto número de vehículos presentes localmente con las emisiones de las centrales eléctricas y aunado a que todavía existe en La Paz un gran número de calles sin pavimentar, al ambiente desértico de la región y algunos factores y actividades más, es probable que se tenga en el aire local una mezcla de partículas y compuestos químicos que podrían tener serias implicaciones en:

- La salud de los habitantes de la ciudad con los costos privados y sociales asociados,
- La salud de ecosistemas cercanos, y
- La competitividad de las actividades que se desarrollan en La Paz.

A pesar de lo anterior, la calidad del aire en La Paz no se conoce con certeza de forma pública, aunque se han ubicado algunos antecedentes en la materia. En ellos se incluye que:

1. Existe una estación de monitoreo de calidad del aire que inició su operación a finales de 2009 y se encuentra incluida en el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Sin embargo, por la ubicación de esta estación (Costa Baja, unos 5 km al norte de la mancha urbana y en cercana proximidad a la CT Punta Prieta) sería difícil considerar sus mediciones como representativas de la calidad del aire en ciudad de La Paz en sí. Además, la cantidad de información recolectada por la estación ha disminuido con el paso del tiempo.
2. Existen tres estaciones más de monitoreo de calidad del aire ubicadas en la ciudad de La Paz y sus cercanías que pertenecen a la Comisión Federal de Electricidad. La información generada en estas estaciones no está disponible de forma abierta y pública además de que se desconoce también su condición de operación.

3. En junio de 2014, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) llevó a cabo en La Paz una campaña corta de un mes de duración para monitorear la calidad del aire local (INECC 2014b). Para este fin se utilizó una estación móvil que fue ubicada en las instalaciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en las calles de Luis Donaldo Colosio y México. Anterior a esta campaña se llevó a cabo otro ejercicio corto de monitoreo también durante los meses de verano en dos sitios de la ciudad (del 8 a 31 de julio de 2010 en el Campo Militar, y del 2 al 19 de agosto de 2010 en las instalaciones de la CONAGUA). Aunque los resultados de los monitoreos no indican parámetros de calidad del aire fuera de los rangos señalados en la normatividad nacional para los periodos de las campañas<sup>1</sup>, la corta temporalidad de los monitoreos no permite obtener conclusiones firmes respecto de la calidad del aire el resto de los meses del año, en los cuales se tienen patrones meteorológicos y niveles de actividad muy distintos. Además, las campañas carecen de diversidad espacial.

Debido a las limitaciones de los monitoreos mencionados, se ha planteado llevar a cabo un estudio de calidad del aire en La Paz que supere las deficiencias de los esfuerzos realizados hasta ahora. Un primer paso, objeto de este trabajo, es la elaboración de un inventario de emisiones contaminantes el cual servirá de insumo para la valoración de externalidades sobre la salud asociadas a las emisiones de las centrales eléctricas en la ciudad de La Paz. A su vez, tanto el inventario de emisiones como la determinación y valoración de externalidades podrán servir de insumos en la elaboración de un Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire).

---

<sup>1</sup> Con excepción del caso de partículas PM 10, donde los límites establecidos fueron rebasados varias veces, incluso en esta corta campaña de monitoreo. Sin embargo, esto se atribuyó a obras de pavimentación cercanas a la estación de monitoreo a lo cual, por su carácter temporal, no se dio gran importancia en el informe.

### *1.3 Objetivo del inventario de emisiones para la ciudad de La Paz*

La implementación de acciones, procedimientos y programas encaminados a mantener un estándar mínimo de la calidad del aire que respiramos requiere conocer las emisiones generadas en cuanto a su tipo, volumen, composición y origen. Para ello el objetivo de este trabajo consiste en elaborar un inventario de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micras (PM 2.5) y partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras (PM 10) para la ciudad de La Paz, Baja California Sur, que identifique y caracterice las fuentes emisoras y cuantifique la magnitud de las mismas.

### *1.4 Integración del inventario*

#### *1.4.1 Cobertura espacial*

Indudablemente, la ciudad de La Paz es el principal centro de actividad en el municipio de La Paz y también el principal centro de generación de emisiones. Sin embargo, para analizar las emisiones a las que los habitantes de la ciudad están expuestos es necesario también incluir las posibles interacciones que se dan entre la ciudad en sí con otros centros de población, actividad y ecosistemas que se encuentran en proximidad inmediata con La Paz. Por ejemplo, un gran número de personas se transporta hacia La Paz desde comunidades cercanas todos los días para trabajar, realizar trámites, estudiar o llevar a cabo actividades comerciales. Igualmente, una parte muy importante de las actividades agrícolas que se desarrollan en el municipio de La Paz se llevan a cabo en áreas colindantes con la ciudad de La Paz. Igualmente, las centrales de generación de electricidad, el aeropuerto y el puerto de Pichilingue se localizan todos fuera de la ciudad pero en muy cercana proximidad. De esta manera, la dinámica generada por todos estos

núcleos de actividad produce emisiones a la atmósfera las cuales afectan la calidad del aire de la ciudad.

Por esta razón se tomó la decisión de considerar como zona de estudio un polígono más amplio que el de la ciudad solamente. El polígono seleccionado es el mismo que se utilizó en la elaboración del Plan de Acción ante el Cambio Climático para La Paz y sus Zonas Colindantes (Ivanova Boncheva et al. 2013) y corresponde al polígono del Centro de Población del Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población La Paz, Estado de Baja California Sur (SEDESOL et al. 2007). Las principales poblaciones en el polígono son La Paz, Chametla, El Centenario, San Pedro, Los Planes, El Sargento, La Ventana, Los Planes y San Juan de la Costa e incluye también al Puerto de Pichilingue, el Aeropuerto Internacional Manuel Márquez de León y las centrales de generación de electricidad CT Punta Prieta y CCI Baja California Sur. El polígono descrito se muestra en la Figura 3.



**Figura 3 Zona de estudio: La Paz y zonas colindantes.**

#### 1.4.2 Año base

En la elaboración del inventario se seleccionó 2013 como el año base. La razón para ello fue la disponibilidad de información para las distintas fuentes de emisión de los contaminantes estudiados. Particularmente, debido al cambio de formato de las cédulas de operación anual (COA) para reportar los años 2014 en adelante, las COAs más recientes disponibles correspondientes a las plantas de generación de electricidad al momento de realizar este trabajo fueron las de 2013.

#### 1.4.3 Población en el área de estudio

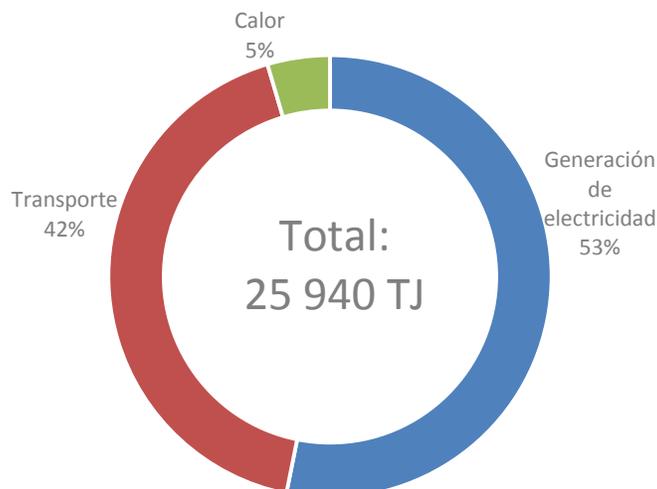
Un aspecto muy importante para los fines del inventario es el conocer el número de personas que habitaban dentro del polígono de la zona de estudio en el año base. Esto permitirá, entre otras cosas, generar correlaciones e incluso será usado

como dato de actividad. Por esta razón se recurrió a los datos de proyecciones de población para 2013 del Consejo Nacional de Población (CONAPO) donde la población de La Paz junto con algunas de las poblaciones dentro del área de estudio suman 243 497 habitantes y es la que se usará en este trabajo. Esto representa el 88.3% del total de la población municipal proyectada por el CONAPO para el mismo año, la cual asciende a 275 867 habitantes.

#### 1.4.4 Balance energético

La Paz es el corazón energético del estado de Baja California Sur. No solo porque en La Paz se genera la mayor parte de la electricidad del estado sino también porque a La Paz arriban la mayor parte de los combustibles fósiles que posteriormente son distribuidos por vía terrestre a otras localidades. Además, el consumo energético de La Paz representa una importante proporción en el total estatal y el uso de energía es responsable de la mayor cantidad de emisiones en La Paz. Por esta razón, en la elaboración del inventario, se consideró necesario primeramente llevar a cabo un balance energético. El balance consideró los combustibles fósiles utilizados en la generación de electricidad (combustóleo y diésel), en el transporte (gasolina, diésel, gas licuado de petróleo o gas LP, diésel marino y querosenos) y en el abasto de calor para usos diversos (gas LP). Asimismo, el balance energético consideró la generación de electricidad en la central fotovoltaica Aura Solar I.

La elaboración del balance resultó en un uso total de energía en La Paz durante 2013 de 25 940 TJ, de los cuales la generación de electricidad fue el uso principal como se muestra en la Figura 4. Debe recordarse que no toda la electricidad generada en La Paz es consumida localmente sino que sirve para abastecer también el consumo de otras localidades del estado. Esto se desglosa con mayor detalle en el Capítulo 2 (página 36).



**Figura 4 Usos de la energía en La Paz por categoría.**

#### 1.4.5 Metodología para la estimación de emisiones

En general, la metodología para la estimación de emisiones consiste en el uso de un factor de emisión, el cual relaciona la cantidad liberada de un cierto contaminante con una actividad relacionada con la liberación de tal contaminante. El factor de emisión está dado por el cociente de la cantidad de masa del contaminante en cuestión que es liberada a la atmósfera dividido entre una unidad de medida de la actividad que lo genera. Tal unidad de medida puede por ejemplo la masa o volumen un combustible utilizado, una distancia recorrida o una duración de operación de proceso. Asimismo, si existen mecanismos que mitiguen la emisión del contaminante inventariado, esto se toma en consideración también. De esta forma, la ecuación general para la estimación de emisiones es la siguiente:

$$E_i = FE_i * A * \left(1 - \frac{ER_i}{100}\right)$$

Donde

E es la cantidad emitida del contaminante  $i$

FE $i$  es el factor de emisión del contaminante  $i$

A es el dato de la actividad asociada con la liberación del contaminante  $i$

ER es la eficiencia (porcentaje) de reducción de la emisión del contaminante  $i$

Sin embargo, llegar al factor de emisión y al dato de actividad que se utilizarán para estimar las emisiones de un contaminante para una cierta fuente muchas veces implica procedimientos distintos que están en función de la información disponible y del proceso o actividad específica que se esté analizando. Por esta razón, el origen de los factores de emisión, de los datos de actividad o de su estimación es descrito en los apartados correspondientes para cada una de las fuentes y procesos considerados en este inventario. Así, aunque se buscará utilizar primeramente factores de emisión, la metodología particular que se empleará en cada categoría dependerá del tipo de datos que puedan recabarse y puede incluir además balances de materiales, encuestas o estimaciones de otro tipo.

Debe mencionarse que, metodológicamente, el desarrollo del presente trabajo se apoyó en diversos documentos y recursos tales como la Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones (SEMARNAT et al. 2005), la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas (SEMARNAT e INECC, 2013), la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en Ciudades Mexicanas (SEMARNAT e INE, 2009), los manuales técnicos del Programa de Inventario de Emisiones de México (<http://www.inecc.gob.mx/calair-info-basica/551-calair-inv-emision>) así como algunos otros artículos y fuentes que son referenciados en las secciones correspondientes.

#### 1.4.6 Fuentes y emisiones

En la elaboración del inventario de emisiones las fuentes se agruparon en cuatro categorías:

**Fuentes fijas o puntuales.** Se refiere a “toda instalación establecida en un sólo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera” (RLEEGEPAMPPCA, 2014, Art 6º, fr IV), incluyendo:

- Las industrias química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos.
- Todos los establecimientos, proyectos o actividades (industrial, comercial o de servicios) administrados por entidades públicas federales.
- Fuentes que afecten el equilibrio ecológico de un estado o país adyacente.

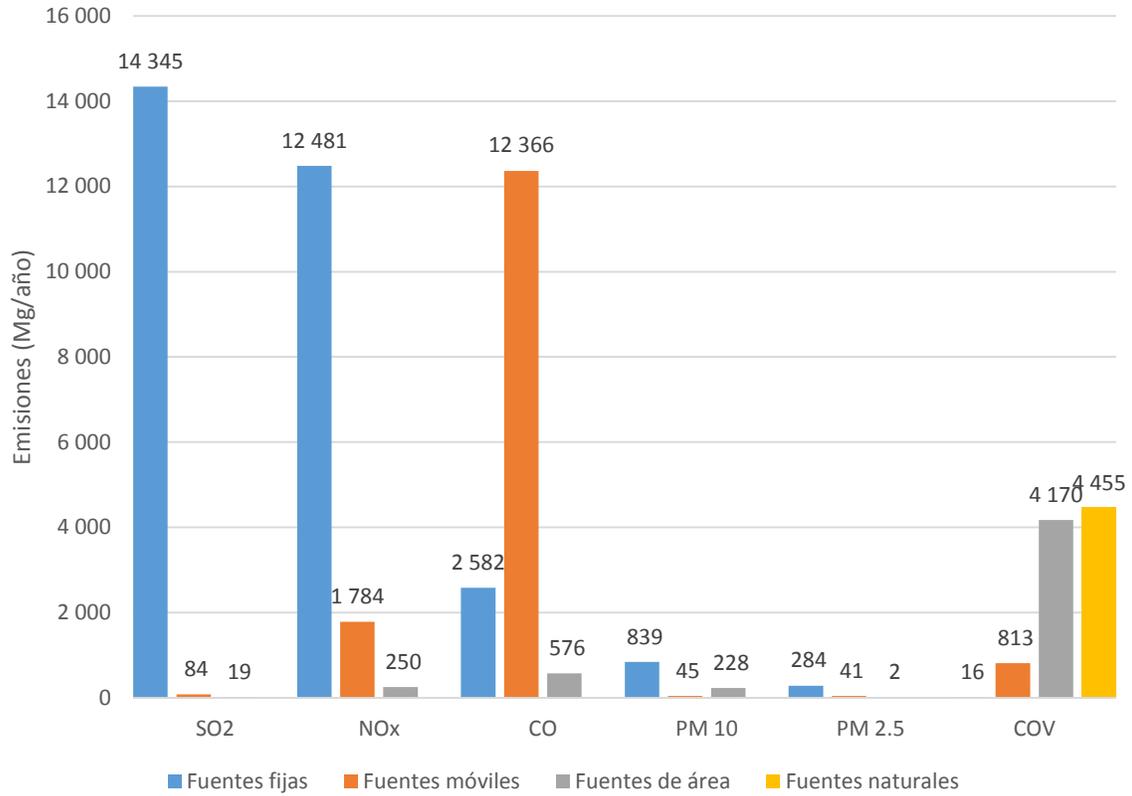
**Fuentes móviles.** Estas están constituidas por los vehículos automotores que tienen un desplazamiento dentro del área de estudio, tales como automóviles privados, camiones, motocicletas o autobuses para uso público o privado. Las emisiones de los vehículos automotores están conformadas por diversos contaminantes y procesos:

- Emisiones del escape
- Emisiones húmedas calientes.
- Emisiones evaporativas en circulación.
- Emisiones diurnas.
- Emisiones evaporativas en reposo.
- Emisiones evaporativas de la recarga de combustible.

**Fuentes de área.** Se refiere a fuentes, establecimientos o actividades que se presentan de manera dispersa pero numerosa y que individualmente no emiten a la atmósfera grandes cantidades de sustancias, gases o partículas, pero sí de manera agregada.

**Fuentes naturales.** Todas aquellas fuentes que emiten contaminantes y que no tienen un origen directamente antropogénico se consideran fuentes naturales. Estas pueden definirse como biogénicas o geogénicas. Las primeras incluyen emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) generadas por cultivos o emisiones del suelo. Las segundas son de origen geológico, como manantiales, volcanes o géiseres.

Considerando estas categorías, se estimó un total agregado de 55 381 toneladas de emisiones de todos los contaminantes considerados en conjunto para La Paz en 2013. La Figura 5 resume los resultados obtenidos por contaminante y fuente. Aquí puede observarse que las fuentes fijas son el principal emisor de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado, las fuentes móviles lo son de monóxido de carbono y las fuentes de área y naturales, de compuestos orgánicos volátiles. El detalle de la descripción y lo que se incluyó en cada categoría se presenta en el Capítulo 3 (p. 52).



**Figura 5 Emisiones totales en La Paz 2013 por contaminante y fuente.**

En el siguiente Capítulo, se presentan las consideraciones hechas y resultados correspondientes al balance energético de La Paz para el año 2013.



## 2 Balance energético de La Paz

Bajo el esquema predominante actualmente en todo el mundo, la gran mayoría de la energía que se utiliza proviene de fuentes fósiles. Aunque esto representa grandes ventajas, el uso de energéticos fósiles tiene también importantes consecuencias. Por ejemplo, el uso de energía para diversos fines resulta en la emisión de importantes cantidades de contaminantes a la atmósfera, incluidos los contaminantes criterio, objeto de este proyecto. De hecho, como se verá más adelante, el uso de energía para diversos fines es responsable de la emisión de la gran mayoría de los contaminantes inventariados en este trabajo. Por ello ha sido necesario realizar primeramente, como parte del inventario, el balance energético para La Paz.

### 2.1 Usos y fuentes de la energía

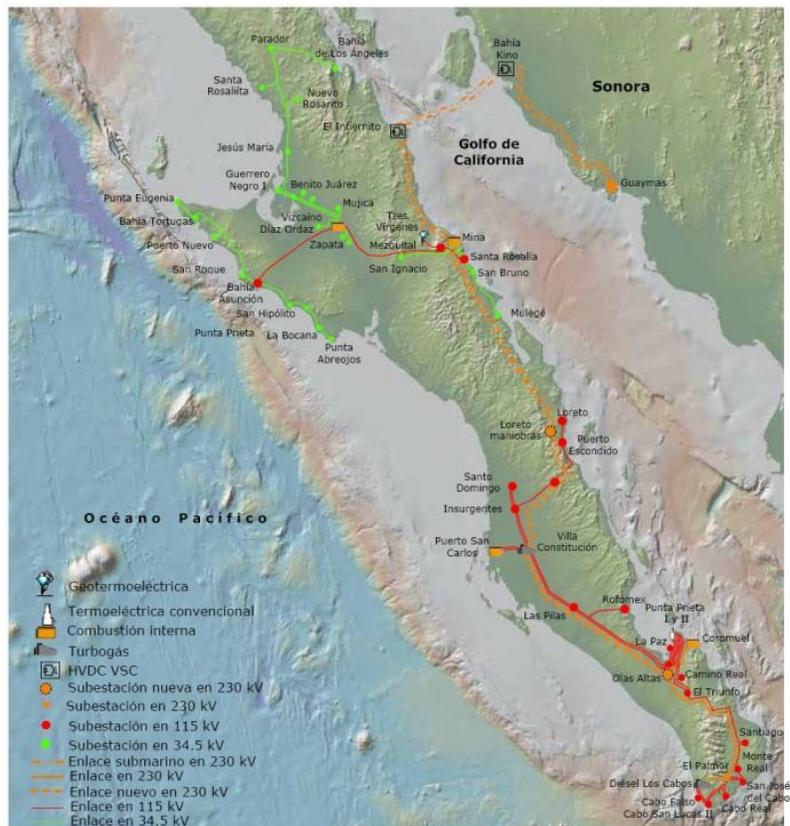
Los usos de la energía en La Paz pueden clasificarse en tres grandes categorías:

- Generación de electricidad para diversos usos
- Energía para transporte
- Energía para producir calor para fines diversos

En las siguientes secciones se presenta la situación general de cada una de estas categorías en La Paz así como las fuentes de energía empleadas en cada categoría y los usos que se da a la energía. Como se mencionó con anterioridad, para fines de elaboración del balance energético de La Paz y del inventario de emisiones, derivado de la disponibilidad de información, se seleccionó 2013 como el año base. Sin embargo, cuando ha sido posible se ha incorporado también información y comentarios relevantes a la situación actual.

## 2.2 Generación de electricidad

El estado de Baja California Sur no está conectado a la red eléctrica del resto del país. Por esta razón, toda la electricidad que se consume en el estado debe también ser generada localmente. Esto se hace por medio de centrales de generación de electricidad que se encuentran distribuidas a lo largo del estado. Aunque existe la propuesta de interconectar las redes eléctricas del estado con el Sistema Interconectado Nacional (ver Figura 6), es decir, con el resto del país, esto no se ha llevado cabo aún.



**Figura 6 Infraestructura de generación y transmisión de electricidad en BCS.**  
Fuente: Adaptado de (CFE 2012a).

### 2.2.1 Fuentes de energía para generación de electricidad

Como complemento a lo presentado en la Figura 6, la Tabla 1 presenta las centrales de generación de electricidad del estado y la capacidad de cada central junto con los combustibles que cada planta utiliza. En La Paz están ubicadas las dos centrales más grandes del estado, las cuales utilizan principalmente combustóleo, combustible diésel y también intermedio 15 (una mezcla de 15% diésel y 85% combustóleo) para generar electricidad:

- Punta Prieta, en la cual se encuentran tres unidades de la central termoeléctrica (Punta Prieta II, 112.5 MW) así como dos unidades de tipo turbogás (La Paz, 43 MW).
- Baja California Sur, la cual comprende actualmente (2015) cuatro unidades de combustión interna y donde se encuentra también en construcción una quinta unidad. Para fines de la elaboración del inventario se consideraron solamente las tres unidades existentes en 2013 (127 MW, capacidad de diseño).

Como se puede observar en la Tabla 1, en la actualidad más de la mitad de la capacidad de generación del estado se encuentra en plantas localizadas en La Paz. En 2013, el consumo combinado de combustibles de estas dos centrales fue de 327 918 m<sup>3</sup> de combustóleo y 20 327 m<sup>3</sup> de diésel para generar un total de 1 372 827 MWh de electricidad. La Tabla 2 presenta el desglose del consumo de combustibles para estas dos centrales.

Además estas dos centrales de CFE, durante 2013 tuvo lugar en La Paz la construcción de la central solar fotovoltaica Aura Solar I (ver Tabla 1)<sup>2</sup>, la cual fue inaugurada en el primer trimestre de 2014. Esta central no pertenece a la CFE y

---

<sup>2</sup> La central Aura Solar I fue severamente impactada por el huracán Odile en septiembre de 2014 y ha estado fuera de línea por varios meses. La falta de información respecto de la operación continua de largo plazo de Aura Solar I derivada del impacto del huracán no ha permitido hacer un análisis completo sobre los impactos que este tipo de centrales pueden tener en la red local en cuanto a estabilidad, costos y emisión de contaminantes.

opera bajo el esquema de Pequeño Productor inyectando electricidad a la red como las otras centrales (pero solamente durante las horas de sol) con el beneficio de no utilizar combustibles fósiles ni generar contaminantes a la atmósfera durante su operación. Durante el último trimestre de 2013, aún en periodo de pruebas, la central Aura Solar I inyectó a la red un total de 6 961 MWh.

**Tabla 1 Parque de generación en Baja California Sur 2015.  
Elaboración propia con datos de la CFE.**

Nombre de la central o planta	Tipo	Combustible	Capacidad efectiva instalada (MW)	Ubicación
Punta Prieta II	Termoeléctrica	Combustóleo + Diésel	112.5	La Paz
La Paz (Punta Prieta)	Turbogás	Diésel	43.0	La Paz
Baja California Sur	Combustión interna	Combustóleo + Diésel	163.8	La Paz
Aura Solar I*	Fotovoltaica	Solar	30.0	La Paz
Gral. Agustín Olachea	Combustión interna	Combustóleo + Diésel	104.1	Comondú
Ciudad Constitución	Turbogás	Diésel	33.2	Comondú
Los Cabos	Turbogás	Diésel	84.7	Los Cabos
P. Móvil T-14000-2	Turbogás	Diésel	12.5	Los Cabos
P. Móvil T-25000-1	Turbogás	Diésel	19.0	Los Cabos
P. Móvil T-25000-2	Turbogás	Diésel	19.0	Los Cabos
Tres Vírgenes	Geotermoeléctrica	Vapor geotérmico	10.0	Mulegé
Guerrero Negro	Eoloeléctrica	Viento	0.6	Mulegé
Guerrero Negro II	Combustión interna	Combustóleo + Diésel	10.8	Mulegé
Santa Rosalía	Combustión interna	Diésel	9.4	Mulegé
P. Móvil OT-5000-1	Turbogás	Diésel	2.9	Mulegé
P. Móvil T-14000-1	Turbogás	Diésel	12.5	Mulegé
Santa Rosalía FV	Fotovoltaica	Solar	1.0	Mulegé

\*Al momento de escritura de este trabajo, la central fotovoltaica Aura Solar se encontraba fuera de servicio como consecuencia de los impactos del huracán Odile en septiembre de 2014.

**Tabla 2 Consumo de combustibles de las centrales ubicadas en La Paz durante 2013.  
Elaboración propia con datos de (CFE 2014a, 2014b).**

Nombre de la central o planta	Ubicación	Generación (MWh)	Consumo de combustóleo (m <sup>3</sup> )	Consumo de diésel (m <sup>3</sup> )
Punta Prieta	La Paz	603 378	176 628	11 532
Baja California Sur	La Paz	769 449	151 290	1 571
TOTAL	La Paz	1 372 827	327 918	13 103

Nota: El intermedio 15 fue repartido proporcionalmente entre el diésel y el combustóleo.

## 2.2.2 Usos de la electricidad

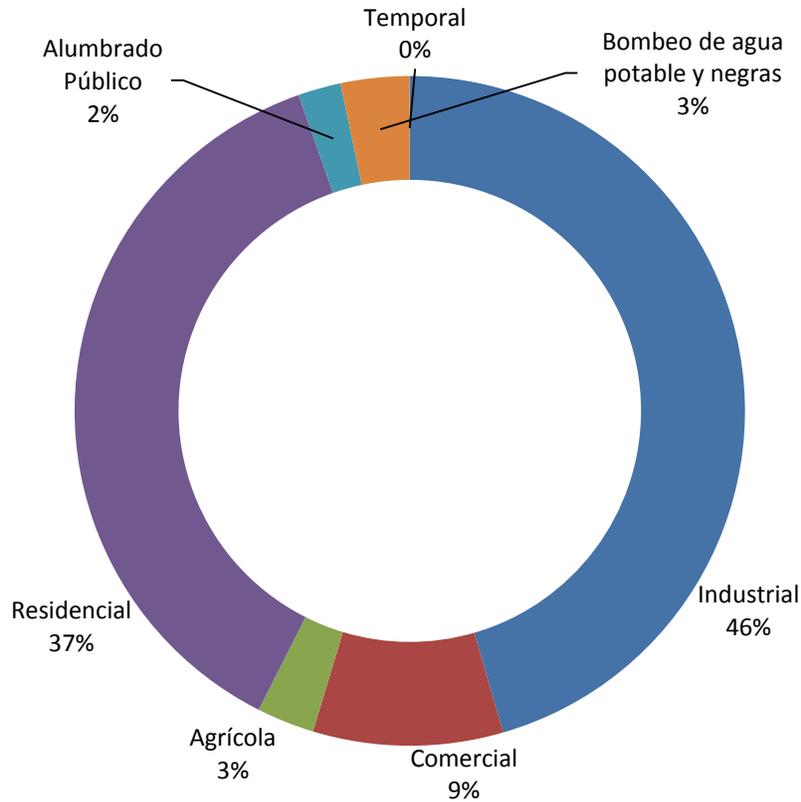
Como se mencionó con anterioridad, las plantas de generación eléctrica ubicadas en La Paz representan la mayor parte de la capacidad total del estado. La Tabla 3 muestra, de manera indicativa, el balance neto entre la electricidad generada y las ventas de electricidad por municipio en Baja California Sur. Como se observa, en La Paz se genera una cantidad considerablemente mayor a las ventas. Ello se debe a que buena parte de la electricidad generada en La Paz se usa para abastecer el consumo eléctrico en otras zonas del estado. En consecuencia, los impactos derivados de la generación de electricidad en La Paz (por ejemplo, la emisión de contaminantes) no se encuentran en proporción con el consumo eléctrico local sino que también se experimentan y asumen en La Paz los impactos correspondientes al consumo eléctrico de otras localidades del estado.

**Tabla 3 Generación, ventas y balance neto de electricidad por municipio en 2013.**  
**Elaboración propia con datos de (SPYDE 2014a).**

Municipio	Generación neta (MWh)	Ventas (MWh)	Balance*
Comondú	638 414	229 448	408 966
Mulegé	130 260	114 430	15 830
La Paz	1 321 778	735 859	585 919
Los Cabos	171 083	931 817	-760 734
Loreto	0	49 498	-49 498

\* El balance incluye los excedentes y también las pérdidas que se tienen en el sistema (técnicas y no técnicas). Por tanto debe considerarse solamente de manera indicativa

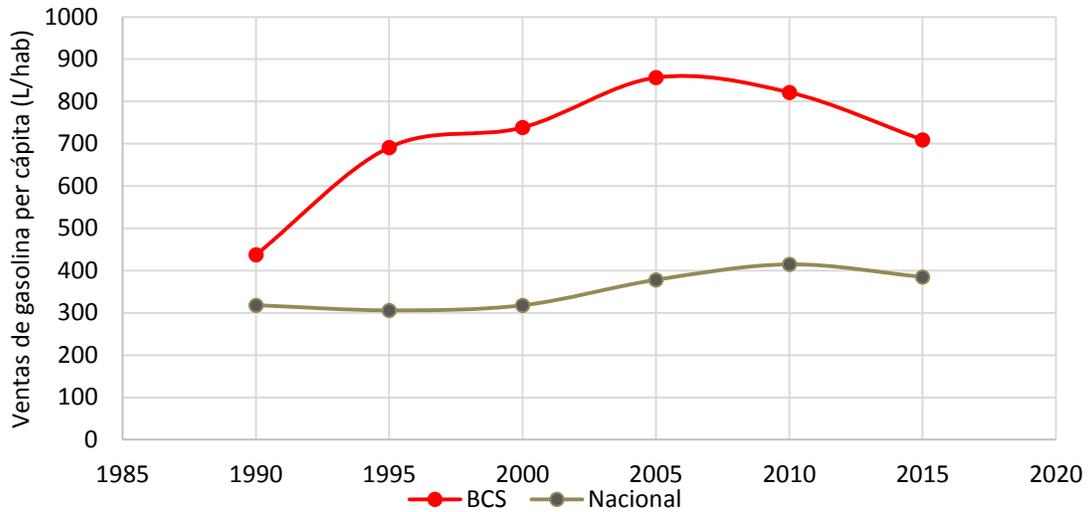
Considerando la parte de la electricidad generada que es realmente consumida en La Paz, los usos son diversos. La Figura 7 muestra cómo se distribuye el consumo de electricidad entre los diversos sectores tarifarios. Resaltan por su magnitud, primeramente el consumo en tarifas industriales, seguido del consumo residencial. Estos dos sectores en conjunto son responsables del 83% del consumo de electricidad en La Paz.



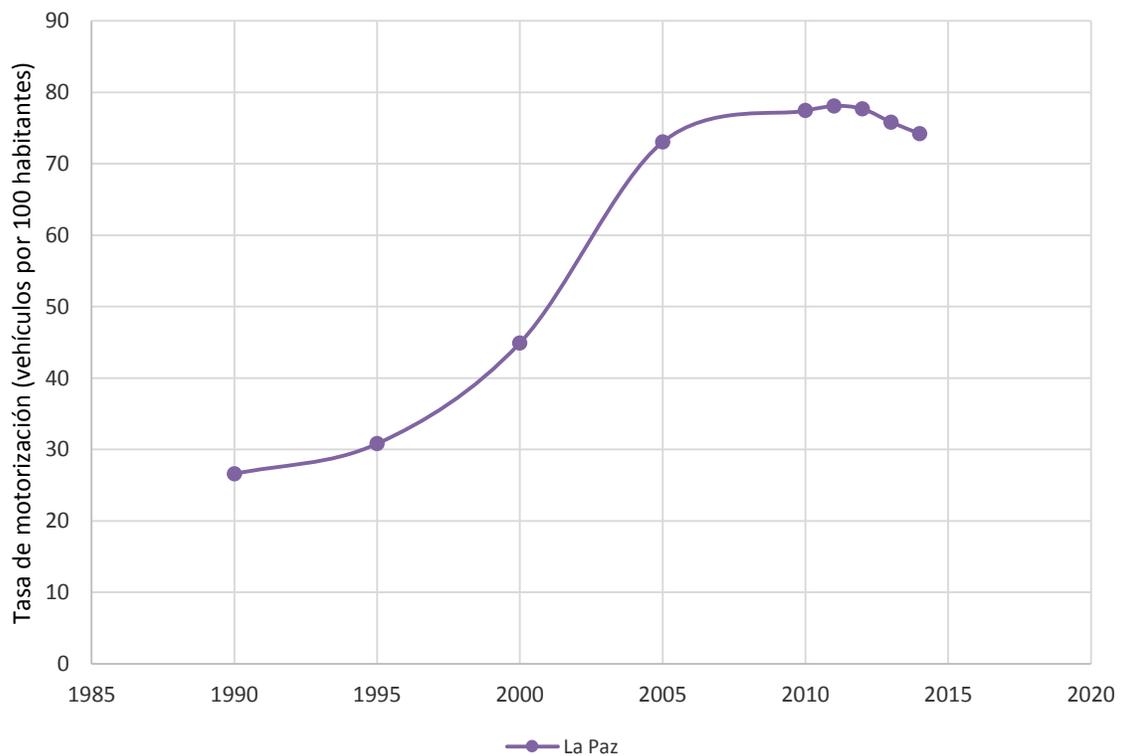
**Figura 7 Distribución del consumo eléctrico por sector tarifario en La Paz para 2013. Elaboración propia con datos de (SPYDE 2014a).**

### 2.3 Transporte

En Baja California Sur, el consumo de gasolinas por persona es muy elevado, considerablemente por arriba del promedio nacional como se observa en la Figura 8, llegando en algunos años a ser más del doble. Esto puede explicarse, en buena parte, considerando que en el estado la tasa de motorización se ha encontrado también entre las más altas del país en las últimas décadas. La tasa de motorización en el municipio de La Paz es similar y alcanza valores cercanos a los 80 vehículos de por cada 100 habitantes (sin considerar los vehículos no registrados, como ya se mencionó con anterioridad). Debe mencionarse que esta tasa se incrementó considerablemente entre los años de 1995 y 2005, e incluso hasta 2010 como se observa en la Figura 9.

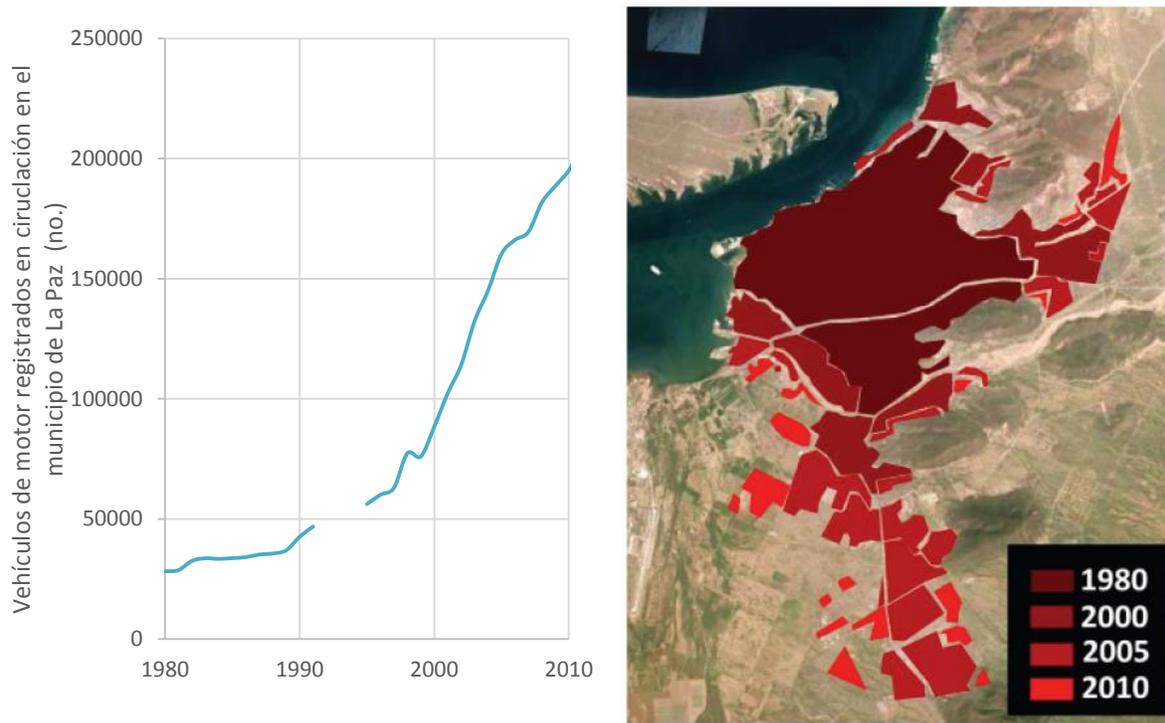


**Figura 8 Ventas históricas de gasolinas per cápita en Baja California Sur y en el país. Elaboración propia con datos de (INEGI 2015a, 2016a; SIE-SENER 2016).**



**Figura 9 Tasa de motorización en el municipio de La Paz (Incluye motocicletas). Elaboración propia con datos de (CONAPO 2015b; INEGI 2015a, 2016a, 2016b, 2016c).**

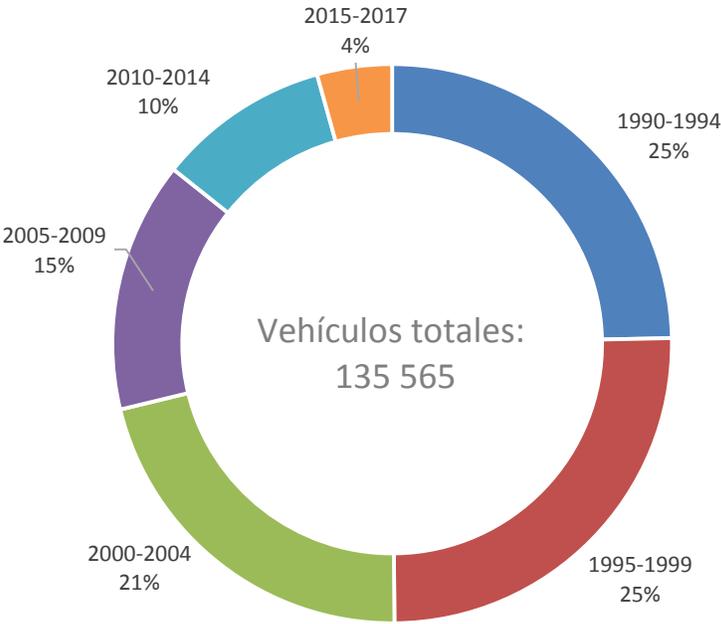
Una posible razón para lo anterior es el rápido crecimiento de la superficie de la ciudad de La Paz en el periodo mencionado, lo cual incrementó las distancias que la gente debe transportarse en sus actividades cotidianas. Simultáneamente, el número de vehículos también creció como se observa en la Figura 10.



**Figura 10 Crecimiento del parque vehicular municipal y la superficie de la ciudad de La Paz 1980-2010. Fuente: Izquierda: Elaboración propia con datos de (INEGI 2016b, 2016c). Derecha: (Idom 2014)**

En la ciudad de La Paz destacan también el elevado número de vehículos que no están registrados. El diagnóstico de movilidad elaborado dentro del Plan de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS) de La Paz precisó, mediante una estimación de los vehículos irregulares sin registro, que la tasa de motorización de la ciudad podría incluso llegar a los 1.27 vehículos por habitante, es decir, más vehículos que personas si se consideran los vehículos no registrados. Esta tasa es de las más elevadas a nivel mundial (Idom 2014) y tiene implicaciones en la cantidad de combustibles consumidos y en las consecuencias que de ello se desprenden tales como las correspondientes emisiones de escape, la evaporación

de combustibles o el levantamiento de polvo al circular. Además, el parque vehicular en La Paz está constituido principalmente por vehículos viejos e ineficientes, en su amplia mayoría por vehículos de modelos anteriores a 2005, es decir, de más de 10 años de antigüedad.



**Figura 11 Distribución del parque vehicular de La Paz por modelo (año) 1990-2016.  
Elaboración propia con datos de la Secretaría de Finanzas  
del Gobierno del Estado de Baja California Sur.**

### 2.3.1 Fuentes de energía

El consumo de combustibles para el transporte en La Paz está dominado por el transporte terrestre. Con excepción de algunas opciones de movilidad no motorizada empleado por una muy pequeña minoría, el transporte en La Paz funciona con base en combustibles que incluyen principalmente gasolinas, diésel y combustibles para aviación. Estos combustibles llegan por mar a la Terminal de

Almacenamiento y Reparto de PEMEX en La Paz para después ser distribuidos. Aunque PEMEX no cuenta con estadísticas sobre ventas por localidad, es posible hacer una estimación como se muestra en la Tabla 4.

.

**Tabla 4 Estimación del consumo de combustibles para transporte en La Paz en 2013.**  
**Elaboración propia con datos de (CONAPO 2015a, 2015b; INEGI 2014a; PEMEX 2015; SIE-SENER 2015b).**

	Baja California Sur			Municipio de La Paz			Ciudad de La Paz	
	Ventas totales (m <sup>3</sup> )	Vehículos de motor registrados en operación (no.)	Consumo por vehículo (m <sup>3</sup> /vehículo)	Vehículos de motor registrados en operación (no.)	Ventas totales (m <sup>3</sup> )	Población (habitantes)	Población (habitantes)	Ventas totales (m <sup>3</sup> )
Gasolinas	507 203	413 192	1.23	209 173	256 765	275 867	243 492	226 631
Diésel transporte*	185 227	413 192	0.45	209 173	93 769	275 867	243 492	82 764

\* Incluye diésel y diésel marino

	Baja California Sur			Municipio y ciudad de La Paz	
	Ventas totales (m <sup>3</sup> )	Pasajeros atendidos en aeropuertos del estado	Consumo por pasajero (m <sup>3</sup> /pasajero)	Pasajeros atendidos en el aeropuerto de La Paz	Ventas totales (m <sup>3</sup> )
Turbosina	123 972	4 041 562	0.03	600 383	18 416

	Baja California Sur			Municipio de La Paz			Ciudad de La Paz	
	Ventas totales (t)	Vehículos de motor registrados en operación (no.)	Consumo por vehículo (t/vehículo)	Vehículos de motor registrados en operación (no.)	Ventas totales (t)	Población (habitantes)	Población (habitantes)	Ventas totales (t)
Gas LP	3 784	413 192	0.0092	209 173	1 915	275 867	243 492	1 691

## 2.4 Calor

El uso final de la energía en las viviendas en México está ampliamente dominado por aplicaciones en las que la fuente de energía es calor, ya sea para calentar agua o para la cocción de alimentos. Entre estos dos usos se cubre el 75% del uso final de energía en las viviendas de México (SENER et al. 2011). El principal combustible utilizado en las viviendas es el gas licuado de petróleo (gas LP) seguido muy cercanamente por la leña. Esta última se usa principalmente, pero no exclusivamente, en entornos rurales.

Similarmente, la obtención de calor en los sectores residencial y comercial en Baja California Sur, sobre todo en ambientes urbanos, se hace por medio de gas LP<sup>3,4</sup>. Nuevamente, a partir del consumo estatal es posible hacer un estimado del consumo en la ciudad de La Paz como se muestra en la Tabla 5. El valor estimado asciende a 23 330 toneladas para el año 2013.

**Tabla 5 Estimación del consumo de gas LP en La Paz 2013.**  
**Elaboración propia con datos de (CONAPO 2015a; SIE-SENER 2015a, 2015b).**

	Baja California Sur			Ciudad de La Paz	
	Ventas totales (t)	Población (habitantes)	Consumo por habitante (t/hab)	Población (habitantes)	Ventas totales (t)
Gas LP*	71 741	718 196	0.10	243 492	24 322

\* Excluye el uso para transporte

Finalmente, al no existir una red de ductos de distribución de gas LP en La Paz ni en el estado de Baja California Sur, el gas se distribuye principalmente a la población a través de contenedores transportables. Asimismo, un volumen

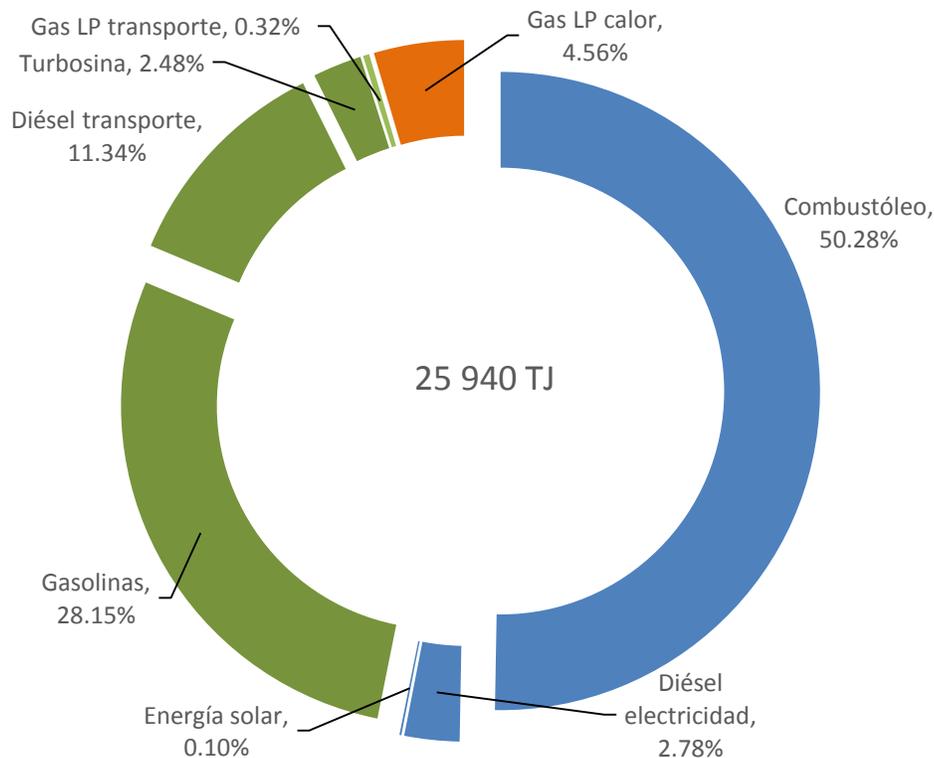
<sup>3</sup> Aunque también se utiliza el carbón vegetal y la leña, no se lleva un registro adecuado del uso real de estos biocombustibles y por ello no se han incluido en el presente trabajo.

<sup>4</sup> Se espera que en 2018 dé inicio el suministro de gas natural a La Paz aunque no se conoce con certeza la fecha precisa de inicio del suministro ni el medio por el cual será traído este energético.

importante de gas LP es distribuido directamente en camiones para reabastecer tanques estacionarios.

## *2.5 Balance energético*

Con base en los consumos de combustibles descritos en las secciones anteriores, la Figura 12 presenta las contribuciones porcentuales por sector y combustible al balance energético y la Figura 13 presenta de forma gráfica los flujos de energía del balance energético de ciudad de La Paz. Para obtener la equivalencia energética de las cantidades de combustibles estimadas en las secciones anteriores se utilizaron los poderes caloríficos de los combustibles que presenta el Balance Nacional de Energía 2013 (SENER 2014) y datos de la hoja de datos de seguridad del gas LP (PEMEX 2007).



**Figura 12 Contribución porcentual en el uso de la energía en La Paz 2013.**  
 El color azul corresponde a electricidad, el verde a transporte y el naranja a calor.

Tras observar la Figura 12, es evidente que el principal uso de la energía en La Paz es la generación de electricidad, aunque no toda la electricidad generada se consume en La Paz, como ya se mencionó con anterioridad. De esta forma, la generación de electricidad es responsable del 53.16% del consumo energético, el transporte del 42.28% y el restante 4.56% le corresponde al uso para calor (gas LP). Al hacer el análisis por combustible, el principal es el combustóleo con 50.28% seguido por las gasolinas con 28.15% y posteriormente el diésel con un total combinado de 14.12% (generación de electricidad y transporte). Debido a que la central Aura Solar I se encontraba en periodo de pruebas en 2013, la contribución de la energía solar en la matriz energética de La Paz es muy poco significativa en este año. En comparación, entre enero y septiembre de 2014, Aura Solar I suministró a la red 43 778 MWh lo que equivale a 5.9% de la facturación del municipio de La Paz en 2013.

## BALANCE ENERGETICO DE LA PAZ 2013

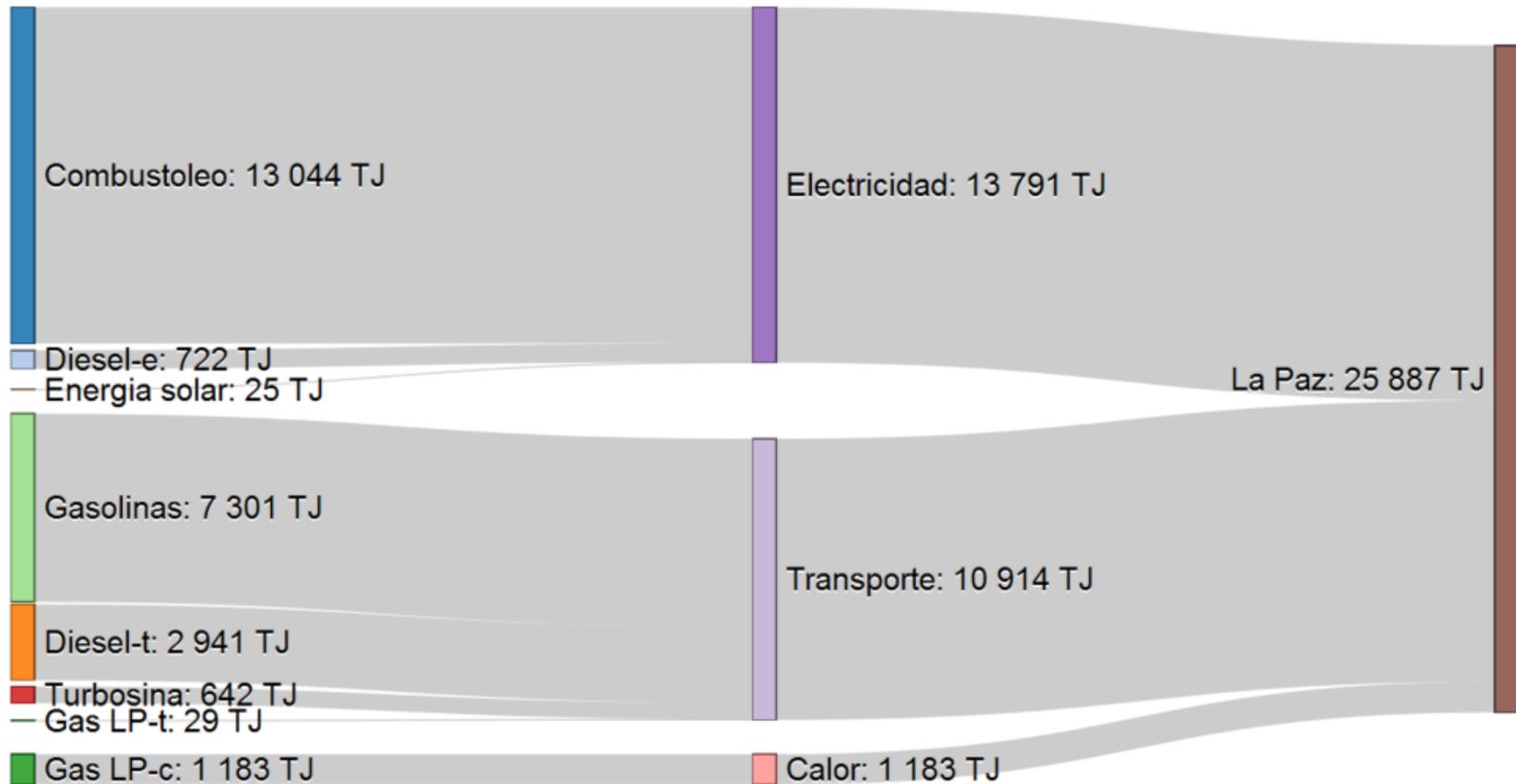


Figura 13 Diagrama de Sankey del balance energético de La Paz 2013.  
 La nomenclatura “-e” Se refiere a electricidad, “-t” a transporte y “-c” a calor.  
 Nota: Se han eliminado deliberadamente los acentos en las etiquetas de la figura por interferir con el software utilizado para realizar el diagrama.



## 3 Inventario de emisiones

### 3.1 Fuentes fijas

Las fuentes fijas se refieren a instalaciones industriales, comerciales o de servicios que generen emisiones a la atmósfera. En el caso de La Paz, aquí se incluyeron a las dos centrales de generación de electricidad que se ubican localmente: la Central Termoeléctrica Punta Prieta y la Central de Combustión Interna Baja California Sur, mismas que fueron consideradas en el balance energético presentado en las secciones anteriores. A continuación se describe el procedimiento para estimar las emisiones de estas centrales.

#### 3.1.1 Metodología

Conforme a lo descrito en la sección 1.4.5, en la estimación de las emisiones de las centrales eléctricas se utilizaron datos de actividad, factores de emisión y la eficiencia de reducción de emisiones en caso de contarse con algún sistema para tal efecto. En el caso de las centrales eléctricas, los datos de actividad corresponden al consumo de combustibles de cada una de las unidades de generación así como de otros equipos. Estos datos fueron obtenidos de las cédulas de operación anual (COA) de ambas centrales.

Los factores de emisión empleados se obtuvieron de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA) a través de su “Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors” (conocido como AP 42) versión de 1995 (<https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/>), considerando las actualizaciones disponibles así como la información disponible en el “Web Factor Information Retrieval System – WebFIRE” (<https://www3.epa.gov/ttn/chief/webfire/index.html>). Asimismo, en algunas ocasiones se realizaron balances de masa para obtener

factores de emisión. Cuando esto fue necesario es señalado en la sección correspondiente así como el valor empleado y las consideraciones realizadas.

### 3.1.2 Densidad y poder calorífico de los combustibles

Como se verá en los siguientes apartados, los combustibles utilizados en la generación de electricidad por la Comisión Federal de Electricidad en La Paz son el combustóleo y el diésel. El Balance Nacional de Energía 2013 se refiere al combustóleo como un “combustible residual de la refinación del petróleo. Abarca todos los productos pesados y se incluye el residuo de vacío, *Virgin Stock*, residuo de absorción y residuo largo. Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación. Se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.” (SENER 2014, p 124) Es el combustible líquido más usado en la generación de electricidad. Por su carácter residual contiene una elevada cantidad de impurezas. Una descripción más amplia puede verse en (CEC 2011, p 43). Por su parte, el diésel es un combustible destilado del petróleo (200-380 °C) de uso principalmente automotriz e industrial para motores de combustión interna. En relación al combustóleo, el diésel es más ligero y contiene menos impurezas.

Para los fines del inventario, es necesario conocer algunas características de los combustibles utilizados. Estas se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6 Poder calorífico y densidad de combustibles para generación de electricidad.**  
**Fuente de los datos: (PEMEX 2011a, 2011b; SENER 2014)**

Combustible	Poder calorífico (MJ/bl)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Combustóleo	6376	1000
Diésel	5715	870 – 950

### 3.1.3 CT Punta Prieta

#### 3.1.3.1 Descripción de la central

La CT Punta Prieta cuenta con tres unidades de tipo vapor de 37.5 MW cada una. Estas fueron instaladas progresivamente en 1979, 1980 y 1985. Cuenta también con dos unidades turbogás para condiciones de emergencia, con capacidades de 18 y 25 MW.

En una unidad termoeléctrica convencional como las que se tienen en la CT Punta Prieta se tiene una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico. El vapor requerido para accionar la turbina se genera en una caldera a la cual se suministra energía a partir de la quema de algún combustible. En el caso de la CT Punta Prieta el combustible para la generación de vapor es combustóleo.

En el caso de las unidades turbogás se tienen también turbinas acopladas generadores eléctricos pero en este caso las turbinas son accionadas por los gases resultantes de un proceso de combustión. En el caso de las unidades en Punta Prieta, el combustible empleado en las unidades turbogás es diésel.

#### 3.1.3.2 Control de emisiones

Los equipos de combustión para los generadores de vapor de la CT Punta Prieta cuentan con un Sistema de Control de Emisiones a la Atmósfera (SCEA), el cual está integrado por un sistema de dosificación de reactivos químicos (hidróxido de magnesio y nitrato de calcio para conversión de óxidos de azufre a sulfatos), equipos de precipitación electrostática para retención de partículas y equipos de recolección y disposición de las cenizas retenidas. La construcción del SCEA se llevó a cabo mediante un contrato por \$17 959 093 USD ejecutado por Double V Holding y se terminó en 2007 (CFE 2012b).

La cédula de operación anual de esta central (CFE 2014b) reporta la eficiencia del sistema de control de contaminantes correspondiente a cada unidad generadora de vapor en la CT Punta Prieta. El reporte especifica que los valores se determinaron mediante medición directa y son los que se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7 Eficiencia reportada del sistema de control de emisiones.  
Fuente: (CFE 2014b).**

Contaminante	Eficiencia (%)		
	Precipitador U1	Precipitador U2	Precipitador U3
CO	93.6	94.2	93.9
NOx	93.6	94.2	93.9
SO2	93.6	94.2	93.9
Partículas*	93.6	94.2	93.9

\* Aunque en la COA la eficiencia se reporta para todos los contaminantes, se consideró que solamente es aplicable a partículas..

Por otro lado, no se reporta ningún tipo de control de emisiones para las unidades turbogás de esta central.

### 3.1.3.3 Datos de actividad

Los tiempos de operación y cantidades de combustible utilizados por cada una de las unidades de generación de la CT Punta Prieta se presentan en la Tabla 8. Como se observa, los generadores de vapor operan durante un tiempo considerablemente mayor que las turbinas de gas lo cual también va en proporción con los volúmenes de combustible utilizados por cada unidad.

**Tabla 8 Especificaciones de los equipos de combustión y consumo de combustible.  
Elaboración propia con datos de (CFE 2014b) y (SEMARNAT 2015).**

Equipo	Tiempo de operación (h/año)	Equipo de combustión, tipo de quemador	Consumo anual de combustible		Contenido de azufre (%)
			Tipo	Cantidad (m <sup>3</sup> )	
121: Generador de vapor, U1	7340.87	331: Quemador frontal	Combustóleo pesado	58 230.530	3.13
121: Generador de vapor, U2	6607.9	331: Quemador frontal	Combustóleo pesado	55 537.255	3.13
121: Generador de vapor, U3	7666.77	331: Quemador frontal	Combustóleo pesado	62 859.885	3.13
317: Turbina de gas	543.07	340: Toberas	Diésel	3 205.680	0.064
317: Turbina de gas	1147.92	340: Toberas	Diésel	8 175.872	0.064

#### 3.1.3.4 Factores de emisión empleados

Como se mencionó anteriormente, los factores de emisión empleados se obtuvieron del AP 42 y de WebFIRE. La Tabla 9 presenta los factores de emisión empleados para calderas mayores a 100 millones de BTU/h que emplean combustible residual.

**Tabla 9 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para calderas.**

	Contaminante	Factor de emisión	Observaciones
Factores de emisión (lb/1000 gal)	SO <sub>2</sub>	157S*	Combustión externa generación de electricidad, calderas de más de 100 millones de BTU/h, combustible residual no. 6. No considera control de emisiones.
	SO <sub>3</sub>	5.7S*	Combustión externa para generación de electricidad, calderas de más de 100 millones de BTU/h, combustible residual no. 6. No considera control de emisiones.
	NO <sub>x</sub>	40	Combustión externa para generación de electricidad, calderas de más de 100 millones de BTU/h, combustible residual no. 6, quemador bajo en NO <sub>x</sub> .
	CO	5	Combustión externa para generación de electricidad, calderas de más de 100 millones de BTU/h, combustible residual no. 6.
	PM 10	0.042A**	Combustión externa para generación de electricidad, combustible residual no. 6, precipitador electrosático. Considera solamente partículas filtrables.
	PM 2.5	0.028A**	Combustión externa para generación de electricidad, combustible residual no. 6, precipitador electrosático. Considera solamente partículas filtrables.
	COV	0.760	Combustión externa para generación de electricidad, combustible residual no. 6.
* S = porcentaje de azufre en el combustible. Ejemplo para 3.5% de azufre, S = 3.5.			
** A = 1.12S + 0.37			

Al utilizar el factor de emisión para SO<sub>2</sub> calculado como se presenta en la Tabla 9 se encontró que era superior al factor que se obtendría mediante un balance de masa. Por esta razón se optó por usar el factor de emisión resultante de considerar que todo el azufre presente en el combustible reacciona para formar SO<sub>2</sub> (56.97 kg SO<sub>2</sub>/1000 L) y por lo tanto se consideró también que no habría formación de SO<sub>3</sub> dado que todo el azufre se encuentra en forma de SO<sub>2</sub>.

Debe mencionarse también que los factores incluidos en la Tabla 9 para PM 10 y PM 2.5 consideran una eficiencia de remoción del precipitador electrostático de

99.2% lo cual difiere de lo reportado en la COA (ver Tabla 7). Por esta razón, para el cálculo de emisiones de partículas, ambos factores de emisión de partículas fueron corregidos considerando la eficiencia reportada en la COA de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \text{PM 10} \\ \text{PM 2.5} \end{array} \quad \begin{array}{l} 0.042A * \frac{(1 - \eta_{COA})}{(1 - \eta_{EPA})} \\ 0.028A * \frac{(1 - \eta_{COA})}{(1 - \eta_{EPA})} \end{array}$$

Donde

$\eta_{COA}$  es la eficiencia de remoción reportada en la COA para cada unidad

$\eta_{EPA}$  es la eficiencia de remoción especificada para los factores de emisión de la EPA

De manera similar, la CFE reportó (CFE 2011) que esperaba una remoción de trióxido de azufre del 76% al referirse al SCEA de la CT José Aceves Pozos (Mazatlán, Sinaloa), el cual funciona de la misma manera que el de la CT Punta Prieta. Este valor se consideró para estimar las emisiones de tanto de SO<sub>2</sub> de la CT Punta Prieta.

En el caso de las turbinas de gas, los factores de emisión empleados son los que se muestran en la Tabla 10. Debido a que las turbinas de gas operan en un régimen menos estable que los generadores de vapor (tipo base), se seleccionaron factores de emisión correspondientes a cualquier nivel de carga (“all loads”) en lugar de los factores listados para cargas iguales o superiores al 80% (“high load”), con excepción del factor de emisión para COV debido a que solo se encontró reportado el factor para “high load”. Asimismo, en AP 42 se considera que las emisiones de material particulado en turbinas operadas con combustible destilado como el diésel son marginalmente significativas debido al bajo contenido de cenizas del combustible (EPA 2000b) y que todas las emisiones de partículas en turbinas de combustión son del tipo PM 10 (EPA 2000a), por lo cual no se incluyó un factor de emisión para PM 2.5.

**Tabla 10 Factores de emisión tomados de AP 42 para turbinas de gas.**

	Contaminante	Factor de emisión	Observaciones
Factores de emisión (lb/millón de BTU)	SO <sub>2</sub>	0.030	Combustible destilado, sin control de emisiones, cualquier nivel de carga ("all loads").
	NO <sub>x</sub>	0.637	Combustible destilado, sin control de emisiones, cualquier nivel de carga ("all loads").
	CO	0.0124	Combustible destilado, sin control de emisiones, cualquier nivel de carga ("all loads").
	PM 10	0.0203	Combustible destilado, sin control de emisiones, cualquier nivel de carga ("all loads").
	COV	0.000410	Combustible destilado, sin control de emisiones, cualquier nivel de carga ("high load").

Debido a que el factor de emisión para SO<sub>2</sub> para turbinas de gas reportado en AP 42 no especifica el contenido de azufre considerado en el combustible, se optó por estimar un factor de emisión considerando que todo el azufre presente en el combustible reacciona para formar SO<sub>2</sub> (balance de masa). Con esta consideración, el factor de emisión empleado para SO<sub>2</sub> en las turbinas de gas es de 1.16 kg/1000 L, el cual considera el contenido de azufre que se incluyó en la Tabla 8.

### 3.1.3.5 Emisiones de la CT Punta Prieta

Con base en los factores de emisión presentados anteriormente, se calcularon las emisiones para la CT Punta Prieta, las cuales se presentan en la Tabla 11. Para fines de comparación, también se incluyen los valores reportados en la COA.

**Tabla 11 Emisiones de la CT Punta Prieta en 2013.**  
**NI, no se incluye; NA, no aplica.**

Equipo	Emisiones (toneladas)											
	SO2		NOx		CO		PM 10		PM 2.5		VOC	
	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA
Generador de vapor, unidad 1	796.12	1 725.13	279.38	NI	34.92	34.94	9.10	NI	6.06	NI	5.31	5.31
Generador de vapor, unidad 2	759.30	1 645.34	266.46	NI	33.31	33.32	7.86	NI	5.24	NI	5.06	5.06
Generador de vapor, unidad 3	859.41	1 862.28	301.59	NI	37.70	37.72	9.36	NI	6.24	NI	5.73	5.73
Turbina de gas 1	3.73	1.00	39.41	NI	0.77	1.00	1.26	1.48	NA	NA	0.03	NI
Turbina de gas 2	9.52	1.00	100.51	NI	1.96	1.00	3.20	2.76	NA	NA	0.06	NI
TOTAL	2 428.08	5 234.75	987.37	0.00	108.65	107.98	30.77	4.24	17.54	0.00	16.19	16.10

Al comparar las emisiones obtenidas en este trabajo con las reportadas en la COA, se observan discrepancias en algunos valores. En el caso del SO<sub>2</sub>, la COA reporta valores para los generadores de vapor muy superiores a los estimados en este trabajo, los cuales podrían ser posibles si la eficiencia de remoción óxidos de azufre del SCEA fuera considerablemente menor que el 76% considerado en este trabajo<sup>5</sup>. Otras posibles explicaciones son que el contenido de azufre del combustible haya sido mayor al reportado o, por tratarse de mediciones directas, que hubiera habido algún problema durante la medición.

Asimismo, la COA no reporta valores para NO<sub>x</sub>, PM 10 para las unidades de vapor, PM 2.5 para ninguna unidad ni COV para las turbinas de gas.

### 3.1.4 CCI Baja California Sur

#### 3.1.4.1 Descripción de la central

En 2013, la CCI Baja California Sur contaba con tres unidades de combustión interna con una capacidad de diseño de 42.9, 42.3 y 41.9 MW (35, 38 y 38 MW de capacidad de operación, respectivamente). Estas entraron en operación progresivamente en 2005, 2007 y 2012. Esta central cuenta además con una turbina de gas de tipo turbojet de 25 MW.

Cada unidad de combustión interna de esta central es impulsada por un motor tipo diésel de dos tiempos de la marca MAN Diesel & Turbo acoplado a un generador eléctrico. Las unidades 2 y 3 de esta central utilizan combustóleo como combustible mientras que la unidad 1 utiliza intermedio 15.

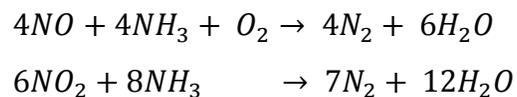
---

<sup>5</sup> Este valor debería ser igual a 49.74% para que ambos registros se igualaran.

En el caso de unidad turbojet se tiene una turbina acoplada a un generador eléctrico. La turbina es accionada por los gases resultantes de un proceso de combustión. En el caso esta unidad turbojet el combustible es diésel.

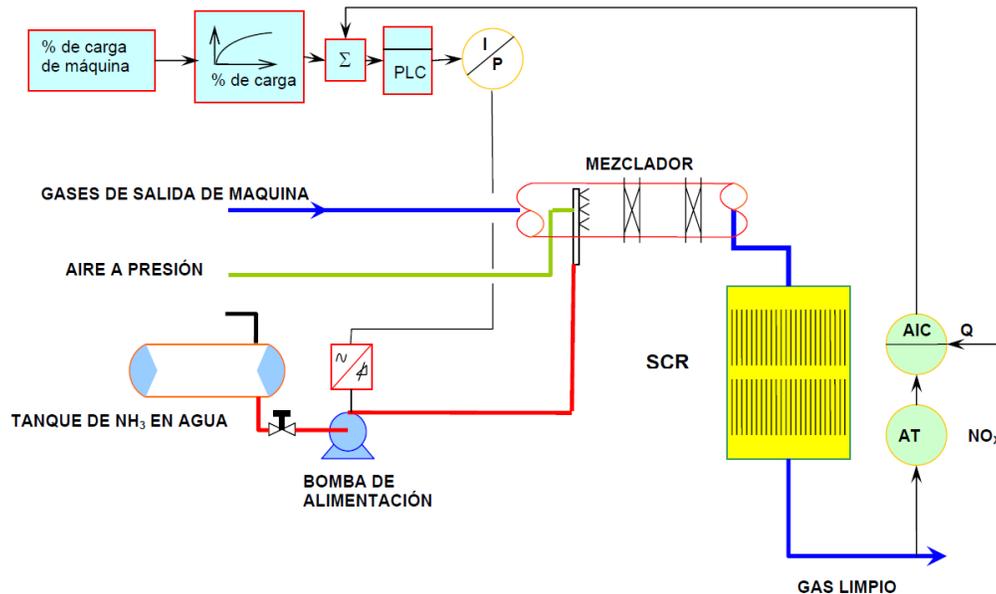
#### 3.1.4.2 Control de emisiones

Las manifestaciones de impacto ambiental de las unidades III y IV de la CCI Baja California Sur consideran la operación de un sistema de reducción catalítica selectiva (SCR, por sus siglas en inglés)<sup>6</sup>. Este sistema inyecta amoniaco a los gases de combustión de estas unidades de combustión interna (ver Figura 14). Posteriormente, la mezcla pasa por un catalizador de pentóxido de vanadio (CFE 2007) para transformar los óxidos de nitrógeno en nitrógeno molecular y agua con las siguientes reacciones básicas (CFE 2008):



---

<sup>6</sup> En visitas a esta central se ha indagado sobre el funcionamiento del SCR y se ha mencionado que opera solamente para la unidad IV cuando ésta se encuentra a niveles de carga superiores al 50%. Asimismo, la COA de esta central para 2013 no reporta ningún tipo de sistema de control de emisiones para las unidades I, II y III (CFE 2014a).



**Figura 14 Funcionamiento del SCR.**  
**Fuente: (CFE 2008).**

### 3.1.4.3 Datos de actividad

Los tiempos de operación y cantidades de combustible utilizados por cada una de las unidades de generación de la CCI Baja California Sur se presentan en la Tabla 12. Como se observa, los motores de combustión interna que impulsan los generadores de electricidad operan durante un tiempo considerablemente mayor que el resto de los equipos y consumen volúmenes de combustible significativamente mayores. Debido a su capacidad, tanto los motores de combustión interna que impulsan los generadores como las máquinas estacionarias diésel se consideran como grandes motores (capacidad superior a los 600 hp) pero operan con combustibles distintos.

**Tabla 12 Especificaciones de los equipos de combustión y consumo de combustible.**  
**Fuente de los datos: (CFE 2014b) y (SEMARNAT 2015).**

Equipo	Tiempo de operación (h/año)	Equipo de combustión, tipo de quemador	Consumo anual de combustible		Contenido de azufre (%)
			Tipo	Cantidad (m3)	
199: Motor de combustión interna est., U1	6 953.32	340: NA	Intermedio 15	48 157.72	3.50
199: Motor de combustión interna est., U2	7 364.55	340: NA	Combustóleo pesado	54 222.79	3.90
199: Motor de combustión interna est., U3	7 883.54	340: NA	Combustóleo pesado	56 133.24	3.90
028: Caldera 1	1 810.90	337: Quemador con atomizador	Diésel	341.16	0.05
028: Caldera 2	2 976.00	337: Quemador con atomizador	Diésel	560.66	0.05
028: Caldera 3	1 651.21	337: Quemador con atomizador	Diésel	306.18	0.05
177: Máquina estacionaria de diésel 1	480.00	340: NA	Diésel	13.00	0.05
177: Máquina estacionaria de diésel 2	480.00	340: NA	Diésel	13.00	0.05
177: Máquina estacionaria de diésel 3	240.00	340: NA	Diésel	9.00	0.05
316: Turbina de diesel	52.96	340: NA	Diésel	317.47	0.05

#### 3.1.4.4 Factores de emisión empleados

Como en el caso de la CT Punta Prieta, los factores de emisión empleados se obtuvieron de AP 42 y WebFIRE. La Tabla 13 presenta factores de emisión para los motores de combustión interna que impulsan los generadores de la planta.

**Tabla 13 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para grandes motores de combustión interna.**

	Contaminante	Factor de emisión	Observaciones
Factores de emisión (lb/1000 gal)	SOx	155S*	Motores de combustión interna recíprocos, uso industrial, combustible residual o petróleo crudo. No considera control de emisiones.
	NOx	604	Motores de combustión interna recíprocos, uso industrial, combustible residual o petróleo crudo. No considera control de emisiones.
	CO	130	Motores de combustión interna recíprocos, uso industrial, combustible residual o petróleo crudo. No considera control de emisiones.
	PM 10	42.5	Motores de combustión interna recíprocos, uso industrial, combustible residual o petróleo crudo. No considera control de emisiones.
	PM 2.5	14	Motores de combustión interna recíprocos, uso para generación de electricidad, combustible destilado (diésel). No considera control de emisiones.
* S = porcentaje de azufre en el combustible. Ejemplo para 3.5% de azufre, S = 3.5.			

Como se verá posteriormente (Tabla 15), al comparar las emisiones calculadas en este trabajo con las reportadas en la COA de la CCI Baja California Sur se encontraron discrepancias importantes para los óxidos de azufre por lo que se buscó estimar las emisiones de una manera alternativa. Esto se llevó a cabo mediante un balance de masa, estimando un nuevo factor de emisión que considera el contenido de azufre incluido en la Tabla 12 y asume que todo el azufre reacciona para formar SO<sub>2</sub>. Este procedimiento resultó en factores de emisión de 70, 78 y 78 kg SO<sub>2</sub>/1000 L para las unidades 1, 2, y 3, respectivamente, los cuales son mayores que los valores que resultan con la fórmula incluida en la Tabla 13 (65.07, 72.51 y 72.51 kg SO<sub>2</sub>/1000 L para las unidades 1, 2, y 3, respectivamente). Aun así, no se logró resolver la discrepancia con los valores reportados en la COA que reporta valores mayores determinados por medición directa.

Asimismo, no se encontró reportado un factor de emisión para PM 2.5 para motores de combustión interna funcionando con combustible pesado o residual.

Por esta razón se utilizó el factor para motores empleando diésel como combustible y es el que se incluye en la Tabla 13.

Para el caso de unidad turbojet que se tiene en la CCI Baja California Sur, se utilizaron los mismos factores que se presentaron en la Tabla 10 para las turbinas de gas con combustible diésel que se encuentran en la CT Punta Prieta. Igualmente se calculó un nuevo factor de emisión para SO<sub>2</sub> mediante un balance de masa considerando el contenido de azufre del diésel utilizado en la CCI Baja California Sur (ver Tabla 12). Este factor es igual a 0.91 kg SO<sub>2</sub>/1000 L.

La CCI Baja California Sur cuenta también con tres motogeneradores de emergencia que operan con diésel. Por su capacidad, se consideran también como grandes motores diésel estacionarios. WebFIRE reporta los mismos factores de emisión que los que se presentaron en la Tabla 13 con excepción del factor para PM 10, que en este caso es de 14 lb/1000 gal. También, al igual que con el factor de para SO<sub>2</sub>, se calculó un nuevo factor mediante un balance de masa que resultó en 0.91 kg SO<sub>2</sub>/1000 L.

Finalmente, los factores de emisión considerados para las calderas que tiene esta central son los que se presentan en la Tabla 14. Nuevamente, se calculó un nuevo factor de emisión para SO<sub>2</sub> mediante un balance de masa considerando que todo el azufre reacciona para formar SO<sub>2</sub> y es igual a 0.91 kg SO<sub>2</sub>/1000 L. En consecuencia, el factor para SO<sub>3</sub> se consideró como cero al asumir que todo el azufre se emite en forma de SO<sub>2</sub>.

**Tabla 14 Factores de emisión tomados de AP 42 y WebFIRE para calderas empleando diésel.**

	Contaminante	Factor de emisión	Observaciones
Factores de emisión (lb/1000 gal)	SO <sub>2</sub>	142S*	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones.
	SO <sub>3</sub>	2S*	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones.
	NO <sub>x</sub>	20	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones.
	CO	5	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones.
	PM 10	1	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones. Considera solamente partículas filtrables.
	PM 2.5	0.25	Calderas industriales de combustión externa, 10-100 millones de BTU/h, combustible destilado. No considera control de emisiones. Considera solamente partículas filtrables.
* S = porcentaje de azufre en el combustible. Ejemplo para 3.5% de azufre, S = 3.5.			

### 3.1.4.5 Emisiones de la CCI Baja California Sur

La Tabla 15 presenta las emisiones calculadas para los equipos de la CCI Baja California Sur. Como en el caso de la CT Punta Prieta, se han incluido también los valores reportados en la COA para fines comparativos.

**Tabla 15 Emisiones de la CCI Baja California Sur en 2013.**  
**NI, no se incluye; NA, no aplica; SF, sin factor reportado.**

Equipo	Emisiones (toneladas)											
	SO2		NOx		CO		PM 10		PM 2.5		VOC	
	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA	Inventario	COA
Motor de combustión interna, unidad 1	3 756.30	4 760.58	3 488.93	NI	750.93	729.88	245.50	42.57	80.87	NI	SF	NI
Motor de combustión interna, unidad 2	4 229.38	5 064.52	3 928.34	NI	845.50	821.80	276.41	47.93	91.05	NI	SF	NI
Motor de combustión interna, unidad 3	3 929.33	5 551.30	4 066.75	NI	875.29	850.76	286.15	49.62	94.26	NI	SF	NI
Caldera 1	0.31	0.31	0.82	NI	0.20	5.18	0.04	0.30	0.01	NI	SF	NI
Caldera 2	0.51	0.51	1.34	NI	0.34	8.52	0.07	0.50	0.02	NI	SF	NI
Caldera 3	0.28	0.28	0.73	NI	0.18	4.65	0.04	0.27	0.01	NI	SF	NI
Motogenerador de emergencia 1	0.01	0.01	0.94	NI	0.20	0.20	0.02	0.01	0.02	NI	SF	NI
Motogenerador de emergencia 2	0.01	0.01	0.94	NI	0.20	0.20	0.02	0.01	0.02	NI	SF	NI
Motogenerador de emergencia 3	0.01	0.01	0.65	NI	0.14	0.14	0.02	0.01	0.02	NI	SF	NI
Turbina de gas	0.29	0.29	3.90	NI	0.08	0.02	0.12	0.02	0.00	NI	0.003	0.002
<b>TOTAL</b>	11 916.43	15 377.81	11 493.35	NI	2 473.07	2 421.33	808.39	141.25	266.28	NI	0.003	0.002

Como era de esperarse, la gran mayoría de las emisiones de contaminantes provienen de los motores de combustión interna que impulsan a los generadores eléctricos. Esto se debe a que operan durante mucho más tiempo que los otros equipos y a que son de mucha mayor capacidad y consumen más combustible.

Al comparar los valores obtenidos en este trabajo y los reportados en la COA, de manera similar al caso de la CT Punta Prieta, los valores reportados como mediciones directas para SO<sub>2</sub> en la COA de la CCI Baja California Sur son considerablemente más altos, a pesar de que los de este trabajo fueron calculados mediante un balance de masa con conversión completa de todo el azufre a SO<sub>2</sub>. Como esta central no tiene controles de emisiones para óxidos de azufre, dos posibles explicaciones para esto son que el contenido de azufre en el combustible haya sido mayor al reportado o que se hubieran tenido problemas en la medición.

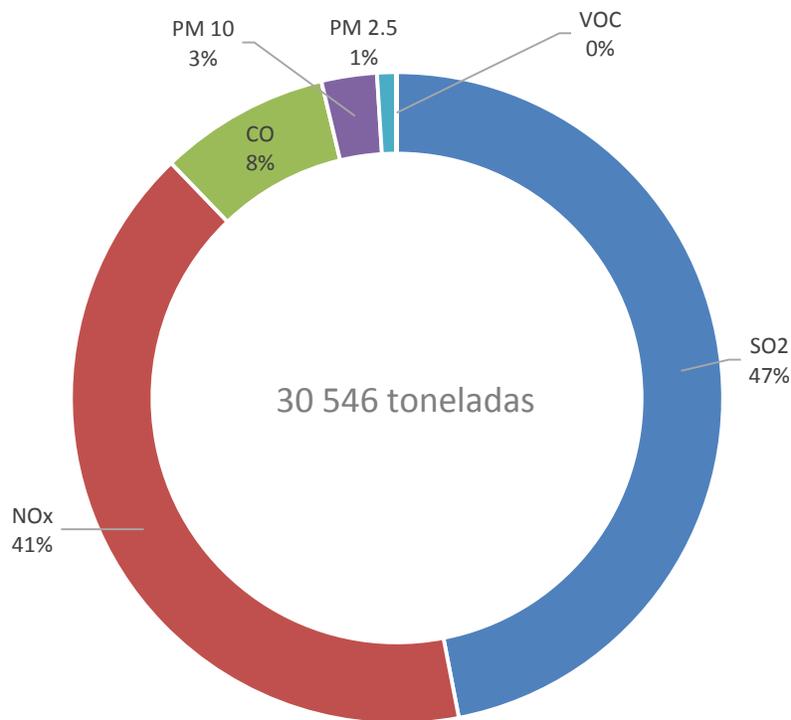
Otra diferencia notable entre ambos registros es que la COA no incluye datos para las emisiones de NO<sub>x</sub> lo cual es muy inesperado. Esto es aún más sorprendente si se considera el gran volumen de emisiones de NO<sub>x</sub> que se han estimado en este trabajo para la CCI Baja California Sur, el cual fue de casi 11 500 toneladas anuales en 2013. De igual manera, no se reportan emisiones para PM 2.5. Asimismo, las emisiones de PM 10 encontradas en este trabajo son significativamente más altas que las reportadas en la COA.

### 3.1.5 Emisiones totales de fuentes fijas

La cantidad total de emisiones de fuentes fijas se estimó en 30 546 toneladas para 2013. La Figura 15 muestra la participación relativa de cada contaminante y la Tabla 16 la participación de cada fuente. Como se observa, los óxidos de azufre y nitrógeno dominan ampliamente las emisiones.

**Tabla 16 Emisiones totales de fuentes fijas.**

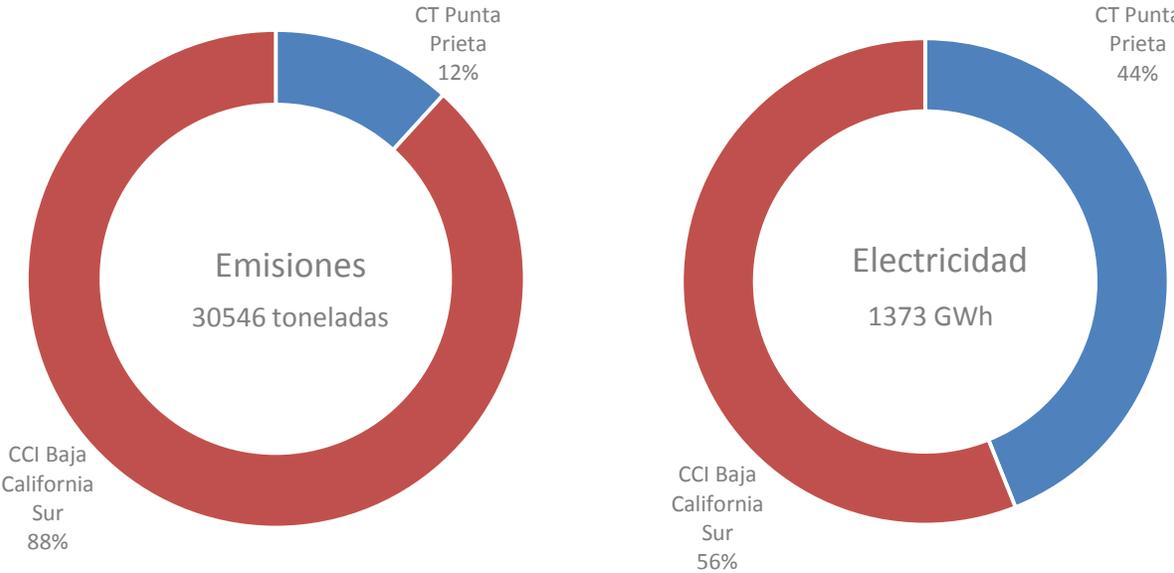
Fuente	Emisiones (toneladas)					
	SO2	NOx	CO	PM 10	PM 2.5	VOC
CT Punta Prieta	2 428.08	987.37	108.68	30.78	17.54	16.19
CCI Baja California Sur	11 916.43	11 493.35	2 473.07	808.39	266.28	0.00
TOTAL	14 344.51	12 480.72	2 581.76	839.17	283.82	16.19



**Figura 15 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes fijas.**

Es importante enfatizar que aunque la generación de electricidad en las dos centrales consideradas presenta valores un tanto cercanos (ver Tabla 2 en la página 39) con un 44% para la CT Punta Prieta y un 56% para la CCI Baja California Sur. En contraste, la emisión total de contaminantes estimada en este

trabajo se encuentra mucho menos balanceada como lo muestra la Figura 16. Como punto de comparación, se estimó un factor de 5.95 toneladas de contaminantes por GWh generado para la CT Punta Prieta y de 35.03 toneladas por GWh para la CCI Baja California Sur. Esto se debe en parte a la naturaleza de los procesos empleados en cada central, a la diferencia en el contenido de azufre de los combustibles empleados en cada central y desde luego, al uso del SCEA en la CT Punta Prieta.



**Figura 16 Comparación de emisiones producidas y electricidad generada.**

Al realizar una comparación por contaminante de los resultados obtenidos para las fuentes fijas, la CCI Baja California Sur es responsable de la emisión del 83% del SO<sub>2</sub>, 92% de los NO<sub>x</sub>, 96% del CO, 96% de PM 10 y 94% de PM 2.5.



## 3.2 Fuentes móviles

### 3.2.1 Generalidades

Existen muchos esfuerzos coordinados a diferentes niveles institucionales y organizacionales para llevar a cabo estimaciones de emisiones de contaminantes de fuentes móviles. Sin embargo, aún no existe un procedimiento estandarizado para lograr dicho objetivo; finalmente, el procedimiento utilizado depende en gran medida de la información disponible. Así, el principal reto a vencer en el proceso de estimación de estas emisiones de contaminantes, es el grado de incertidumbre implícito en el cálculo y modelo mediante el cual se realiza dicha estimación. La complejidad para la estimación de las emisiones de las fuentes móviles, radica, fundamentalmente, en que a diferencia de las fuentes de área, fijas y naturales, las fuentes móviles (como su clasificación lo indica) no pueden ser ubicadas puntualmente de manera estática en el espacio y el tiempo, sino que estos parámetros varían, y por lo tanto, también existe una variación cuantitativa espacio-temporal de las emisiones. En la medida en que sean más visibles las problemáticas relacionadas con la calidad del aire, la necesidad de contar con herramientas que permitan la elaboración, evaluación y seguimiento de políticas públicas se hace más necesaria.

### 3.2.2 Antecedentes de la estimación de emisiones de fuentes móviles en México

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) presenta como uno de los primeros esfuerzos coordinados en México en el tema de estimación de emisiones al proceso que dio inicio en el año de 1995. Este trabajo fue el Inventario Nacional de Emisiones de 1999, coordinado por la entidad gubernamental que hoy está representada por el INECC, con el apoyo y participación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la

Asociación de Gobernadores del Oeste (WGA, por sus siglas en inglés), la Comisión para la Cooperación Ambiental (CEC, por sus siglas en inglés), así como la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En el año 2004 se hicieron públicos (CEC 2004) los resultados de este esfuerzo mediante el inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México. Posteriormente se presentó en el año 2006 el Inventario Nacional de Emisiones para México para el año base 1999. Este inventario incluyó la cuantificación de las emisiones de fuentes móviles, clasificando principalmente los tipos de vehículos de acuerdo a su peso. En ese trabajo las fuentes móviles de emisiones se identificaron como la principal fuente antropogénica de emisión de contaminantes. Los tipos de contaminantes criterio incluidos en estos inventarios para todos los municipios del país fueron los siguientes:

- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).
- Material particulado de 10 micrómetros (PM 10).
- Material particulado de 2.5 micrómetros (PM 2.5).
- Compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Amoniaco (NH<sub>3</sub>).

### 3.2.3 Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013

El esfuerzo oficial más reciente y actualizado en el área de emisiones de contaminantes para fuentes móviles en México se materializó en el documentó “Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)” (INECC 2014a). El inventario se alimentó con los datos de ventas de vehículos; actividad vehicular por año modelo y categoría por

región; integrando las variables meteorológicas para cada municipio del país; considerando las características de los combustibles por región y municipio; y utilizando, finalmente, los datos de penetración del programa de verificación vehicular en el país para estimar los parámetros relacionados con el mantenimiento vehicular. Se plantea en este ejercicio la necesidad de continuar adaptando el modelo MOVES a las características específicas de cada ciudad mexicana, es decir, esto se presenta como el primer esfuerzo coordinado por instituciones oficiales con los datos más finos disponibles para México para fuentes móviles.

#### 3.2.3.1 Información y métodos de cálculo

La operación que fundamentalmente se realiza en la elaboración de un inventario de emisiones es identificar una unidad de emisión de contaminantes y otra unidad de operación de la fuente, en este caso, móvil. Para realizar las estimaciones de emisiones de fuentes móviles, especialmente las que circulan por carretera son necesarias tres piezas básicas de información (INECC 2014a):

1. Número de vehículos en la zona de estudio distribuidos por antigüedad y tipo de vehículo.
2. Datos de actividad vehicular representados por la distancia recorrida por tipo de vehículo.
3. Factores de emisión que relacionen los volúmenes de emisión de contaminantes por tipo de vehículo con la actividad vehicular, en este caso dado por la distancia recorrida.

El cálculo de emisiones de fuentes móviles, de manera general, y de acuerdo al criterio utilizado por el INECC y la SEMARNAT para México, se basan en la siguiente ecuación (INECC 2014a):

$$E_{ij} = FE_{ij} * DA_j * VC_j$$

Donde:

*E<sub>j</sub>*: Emisiones totales de *i* contaminante y *j* categoría vehicular

*FE<sub>ij</sub>*: El factor de emisión de *i* contaminante y *j* categoría vehicular (*gramos*/kilómetro)

*DA<sub>j</sub>*: Dato de actividad de *j* categoría vehicular para un vehículo (*kilómetros*/día o año)

*VC<sub>j</sub>*: El número de vehículos de *j* categoría.

Con este marco, utilizando el modelo MOVES con las variables y la calidad de información recabada por el INECC para el inventario de fuentes móviles 2013, difícilmente se podrá mejorar la calidad de la información recabada para el modelaje, ya que no existen en México, y más específicamente para La Paz, datos con mayor nivel de detalle. Por esta razón las emisiones de fuentes móviles incluidas en este inventario serán las obtenidas por el INECC (INECC 2014a) para el Municipio de La Paz.

### 3.2.3.2 Emisiones obtenidas para La Paz

Las variables ingresadas al modelo MOVES para el inventario del año 2013 de México, y más específicamente para La Paz, pueden presentar variaciones que modificarían en alguna medida los valores de las emisiones presentadas, sobre todo, en verano. Una de las variables importantes, en este caso, son las características del combustible ingresadas al modelo. En el inventario presentado por el INECC, en el apartado de la caracterización del combustible de uso

vehicular, se mencionó que no existe información de PEMEX actualizada para el año 2013, por lo que se utilizaron las especificaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. En este apartado, se asigna para La Paz la zona Z3 del Pacífico en la cual se asignan clase de volatilidad B de octubre a mayo y A de junio a octubre como se observa en la Tabla 17. Asimismo, el contenido de azufre utilizado en el Inventario de INECC (INECC 2014a) se presenta en la Tabla 18. Con esta información obtuvieron los volúmenes de emisiones que se presentan en la Figura 17.

**Tabla 17 Características de los combustibles utilizadas para la estimación de contaminantes en La Paz en 2013.**

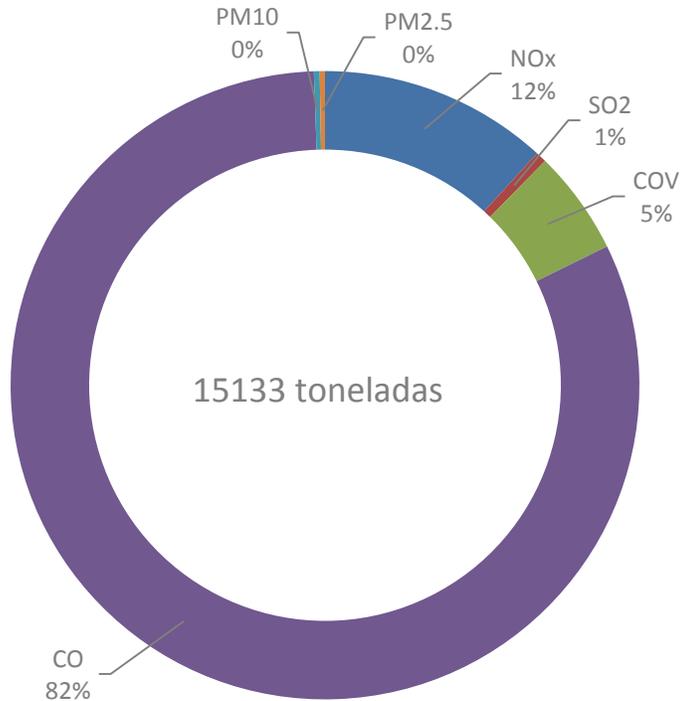
**Fuente: Elaboración propia a partir de (INECC 2014a).**

Propiedad	Unidades	Clase de volatilidad	
		A	B
Presión de Vapor Reid	kPa	54 a 62	62 a 69
	(lb/pulg <sup>2</sup> )	7.8 a 9.0	9 a 10
Temperatura máxima de destilación del 10 %	°C	70	65
Temperatura máxima de destilación del 50%	°C	77 a 121	77 a 118
Temperatura máxima de destilación del 90%	°C	190	190
Temperatura máxima de ebullición final	°C	225	225
Residuo de destilación, valor máximo	%vol	2	2
Tipo de zona para La Paz (Z3, Pacífico)		Junio-Septiembre	Octubre-Mayo

**Tabla 18 Contenido de azufre de los combustibles para el inventario nacional de fuentes móviles INECC 2013.**

**Fuente: Elaboración propia a partir de (INECC 2014a)(INECC 2014a).**

Propiedad	Unidades	Pemex Premium	Pemex Magna	Diesel
Contenido de azufre	ppm en peso	250 promedio 300 máximo	300 promedio 500 máximo	500 máximo



**Figura 17 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes móviles.**  
**Fuente de los datos: (INECC 2014a).**

### 3.2.4 Estimación mediante factores de emisión

Para llevar a cabo un análisis comparativo con los resultados obtenidos por INECC para 2013, se realizó una estimación de emisiones de contaminantes criterio a partir de factores de emisión reportados en un estudio desarrollado por el Centro para el Transporte Urbano del Futuro de la Universidad de California en Berkeley (Chester et al. 2008). En el estudio los vehículos se clasificaron en 3 categorías según el peso del vehículo: sedan (1,451.5 kg), SUV (2,086.5 kg) y pickup (2,358.7 kg) además de una clasificación para el transporte de pasajeros: bus (11,340 kg). A estas categorías se les asignaron parámetros de recorrido diario promedio como se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19 Clasificación de vehículos.**

**Fuente: (Chester et al. 2008)**

Tipo de vehículo	Peso (kg)	km recorridos/año	km recorridos/día
Sedan	1,451.50	17,702.78	48.50
SUV	2,086.50	17,702.78	48.50
Pickup	2,358.70	17,702.78	48.50
BUS	11,340.00	67592.448	185.18

Para cada una de estas categorías se determinaron factores de emisión para diversos contaminantes. Los factores de emisión para vehículos en operación fueron calculados a partir del programa MOBILE 6.2 de la EPA, en donde se ingresaron las características operacionales de los vehículos, datos de combustibles, rendimientos, entre otras variables. Para profundizar, el trabajo de Chester et al. (2008) desagrega los resultados obtenidos con MOBILE 6.2 para generar factores de emisión para las distintas ciclos de los vehículos tales como el arranque, la operación estable y la no operación. Los factores de emisión que obtuvieron se presentan en la Tabla 20. Esta desagregación permite saber cuándo y dónde se generan las emisiones de contaminantes.

**Tabla 20 Factores de emisión reportados por Chester et al. (2008) para verano y su conversión a unidades métricas.**

Contaminante	Sedan	SUV	Pickup	Bus	Sedan	SUV	Pickup	Bus	
Emisiones de operación		g/MVR*				g/KVR**			
CO <sub>2</sub>	365	482	479	2372	226.8	300	297.64	1474	
SO <sub>2</sub>	0.02	0.03	0.03	0.74	0.0124	0.02	0.0186	0.46	
CO	9.5	9.6	9.6	4.4	5.903	5.97	5.9652	2.73	
NO <sub>x</sub>	0.8	0.76	1	17.7	0.4971	0.47	0.6214	11	
VOC	0.28	0.33	0.35	0.55	0.174	0.21	0.2175	0.34	
Plomo	0	0	0	0	0	0	0	0	
PM 10	0.11	0.11	0.11	0.66	0.0684	0.07	0.0684	0.41	
Emisiones no-operación		g/MVR*				g/KVR**			
CO arranque	2.4	3.7	4.4	0	1.4913	2.3	2.734	0	
No <sub>x</sub> arranque	0.15	0.16	0.2	0	0.0932	0.1	0.1243	0	
VOC arranque	0.22	0.28	0.3	0	0.1367	0.17	0.1864	0	
PM 10 desgaste de frenos	0.01	0.01	0.01	0.1	0.0062	0.01	0.0062	0.06	
PM 10 desgaste de neumáticos	0.01	0.01	0.01	0.1	0.0062	0.01	0.0062	0.06	
VOC pérdidas evaporativas	0.81	0.72	0.72	0	0.5033	0.45	0.4474	0	

\*gramos/Milla Vehículo Recorrida para verano, temperatura promedio de 22 °C- 33 °C.

\*\*gramos/Kilómetro Vehículo Recorrido para verano, temperatura promedio de 22 °C- 33 °C.

### 3.2.4.1 Caracterización de transporte y flota vehicular en La Paz

De acuerdo con la Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado de BCS, en La Paz el número de unidades activa en la ciudad es de 135,565<sup>7</sup>. De acuerdo al padrón vehicular de la oficina de Tránsito Municipal para el año 2013, la distribución, en porcentajes, de acuerdo al número de cilindros es: 48% son de 4 cilindros, 36% de 6 cilindros y 16% de ellos de 8 cilindros. La mayoría de los vehículos son de origen estadounidense, prácticamente el 75%, y el resto son de origen nacional. Además, como se mencionó anteriormente, el grueso de la flota vehicular tiene más de 10 años de antigüedad (ver Figura 11), ya que 25% de los vehículos se encuentran entre modelos 1990-1994, otro 25% de ellos están en modelos 1995–1999, 21% de las unidades se encuentran entre los años 2000-

<sup>7</sup> Estos datos incluyen vehículos de año modelo 1990 y más recientes. Esto contrasta con el valor reportado por INEGI de 209 173 vehículos de motor registrados en circulación (incluyendo motocicletas) (INEGI 2016b, 2016c). La diferencia se atribuye a que la Secretaría de Finanzas no incluyó vehículos de año modelo anterior a 1990.

2004, 15% son modelos 2005-2009, 10% modelos 2010-2014 y finalmente, el 4% se encuentran entre los años 2015-2017. De acuerdo con el PIMUS (Idom 2014), el modelo de atracción de viajes arrojó un número total diario de 407 000 viajes para un total de 1.85 viajes/persona/día.

Asimismo, con información recabada por la Junta Estatal de Caminos en 2014, se pudo establecer el flujo de vehículos en el cruce más crítico de la ciudad, el puente que interconecta a la ciudad con la zona sur, así como con la línea de tránsito que desemboca con la vía Forjadores con más de 40,000 vehículos al día (Idom 2014), está caracterizado por un 90% de vehículos ligeros, 4% de vehículos de pasajeros, 4% de vehículos pesados de carga y 2% motocicletas, en promedio. Derivado

#### 3.2.4.2 Emisiones de fuentes móviles

Con base en la información sobre el parque vehicular de La Paz, los factores de emisión del estudio de Chester et al. (2008) y una estimación de distancia promedio de recorrido anual por vehículo según su antigüedad<sup>8</sup> se llevaron a cabo evaluaciones de las emisiones de fuentes móviles para La Paz. Derivado del análisis del parque vehicular reportado por la Secretaría de Finanzas (84% corresponde a vehículos de 4 y 6 cilindros), se asumieron los factores de emisión correspondientes a vehículos tipo sedán. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 21 y los factores de emisión empleados y los resultados obtenidos por modalidad de vehículo se presentan en la Tabla 22. Para fines de comparación, la Figura 18 muestra las emisiones estimadas con este método y los valores obtenidos en el estudio de INECC.

---

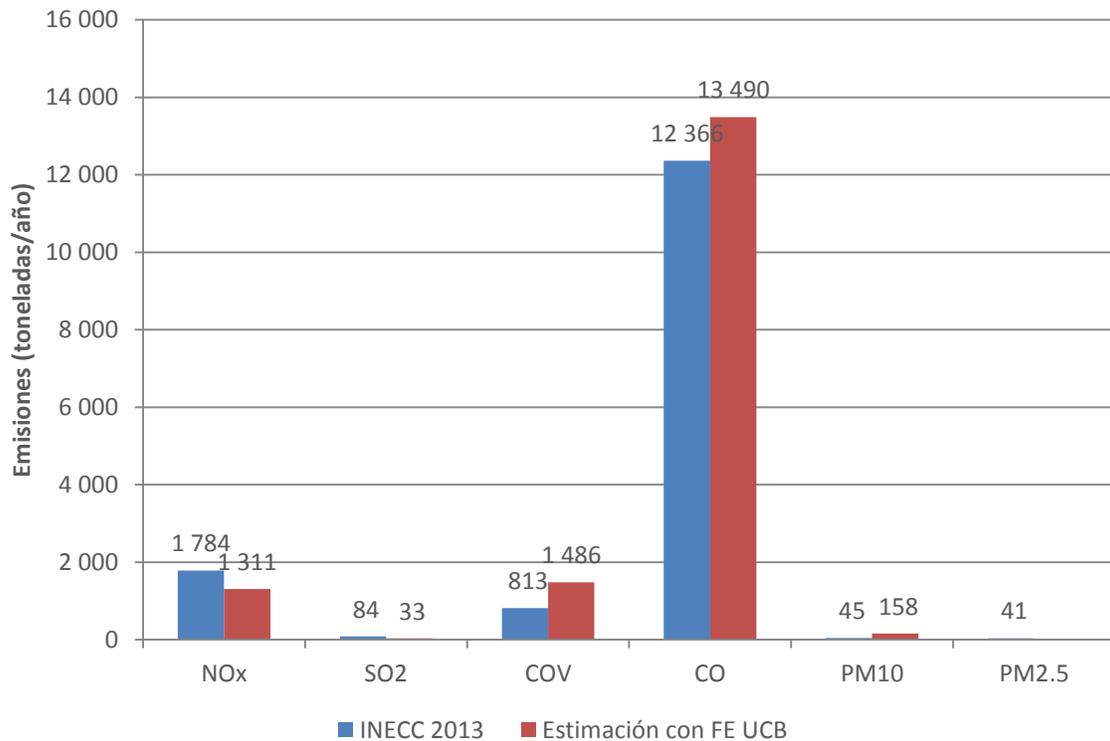
<sup>8</sup> La estimación se realizó mediante un promedio ponderado considerando la antigüedad reportada para el parque vehicular de La Paz e información para el norte del país presentada en (INECC 2014a, Figura 6). El resultado fue de 13 398 km anuales o 36.71 km diarios.

**Tabla 21 Emisiones de fuentes móviles  
estimadas mediante factores de emisión.**

Contaminante	Total
	Toneladas
SO <sub>2</sub>	32.60
CO	13 490.37
NO <sub>x</sub>	1 311.42
VOC	1 485.96
PM 10	158.38

**Tabla 22 Factores de emisión empleados y emisiones totales para fuentes móviles en La Paz 2013.**

<b>Contaminante</b>	<b>Sedán</b>	<b>Bus</b>	<b>Trasporte privado</b>	<b>Trasporte público</b>	<b>Trasporte privado</b>	<b>Trasporte público</b>	<b>Emisiones totales</b>
<b>Emisiones de operación</b>	<b>g/KVR</b>	<b>g/KVR</b>	<b>g/KVR día</b>	<b>g/KVR día</b>	<b>tonelada/año</b>	<b>tonelada/año</b>	<b>tonelada/año</b>
SO <sub>2</sub>	0.012	0.460	61 842.90	27 478.59	22.57	10.03	32.60
CO	5.903	2.734	29 375 377.25	163 386.23	10 722.01	59.64	10 781.65
NO <sub>x</sub>	0.497	10.967	2 473 715.98	655 401.59	902.91	239.22	1 142.13
VOC	0.174	0.342	865 800.59	20 423.28	316.02	7.45	323.47
PM 10	0.068	0.410	340 135.95	24 507.93	124.15	8.95	133.10
<b>Emisiones no-operación</b>							
CO arranque	1.49	0.00	7 421 147.94	0.00	2 708.72	0.00	2 708.72
No <sub>x</sub> arranque	0.09	0.00	463 821.75	0.00	169.29	0.00	169.29
VOC arranque	0.14	0.00	680 271.89	0.00	248.30	0.00	248.30
PM 10 desgaste de frenos	0.01	0.06	30 921.45	3 713.32	11.29	1.36	12.64
PM 10 desgaste de neumáticos	0.01	0.06	30 921.45	3 713.32	11.29	1.36	12.64
VOC pérdidas evaporativas	0.50	0.00	2 504 637.43	0.00	914.19	0.00	914.19



**Figura 18 Emisiones de fuentes móviles para La Paz 2013. Comparación de resultados.**

Como puede observarse, existen discrepancias entre ambos conjuntos de resultados. Al respecto, las variaciones en NOx se pueden explicar al menos parcialmente al considerar que para el caso de Estados Unidos (que es el caso de los factores de emisión presentados) se toma en cuenta la operación de convertidores catalíticos en los vehículos los cuales tienen la función de reducir las emisiones de este tipo. En La Paz, en contraste, una práctica común es el retirar los convertidores catalíticos de los vehículos debido a que no existe un programa de verificación vehicular y a que existe un mercado de compra-venta de catalizadores en la región.

Una posible razón para explicar las discrepancias con los resultados de INECC en CO son los ajustes para temperatura que modifican también la emisión de estos contaminantes. Aunque se consideraron los factores de emisión para verano, las temperaturas en La Paz son mayores que el rango de temperatura reportado de 22-33 °C en el estudio de la UC Berkeley. Para el caso del CO, se esperaría que un aumento en la temperatura produjera un factor de emisión menor. Por el contrario, para el caso de las emisiones de COV se esperaría que un incremento en la temperatura incrementara el factor de emisión al aumentar las pérdidas evaporativas, incrementando aún más la diferencia entre ambas estimaciones.

De cualquier forma, los resultados de este ejercicio han permitido notar que las emisiones que se dan fuera del modo de operación estable de las fuentes móviles pueden ser muy importantes. Por ejemplo, los resultados indican que la mayor parte de los COV se debe a pérdidas evaporativas cuando los vehículos no están en uso.



### 3.3 Fuentes de área

Las fuentes de área suelen ser numerosas y se encuentran dispersas. Aunque muchas de ellas corresponden a una fuente de emisión de ubicación permanente, individualmente son relativamente pequeñas para incluirlas en la categoría de las fuentes fijas o puntuales y el esfuerzo requerido para analizarlas de igual manera que las fuentes fijas sería demasiado grande. Sin embargo, de manera agregada, las emisiones de las fuentes de área son importantes y deben ser consideradas en un inventario de emisiones. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, las gasolineras, las ladrilleras y las plantas de tratamientos de aguas residuales, por mencionar algunas. Asimismo, en esta categoría se incluyen también fuentes móviles que no circulan por carretera tales como cruceros o vuelos comerciales debido a que la metodología aplicada para estimar sus emisiones es similar a la de otras fuentes de área.

Los inventarios de fuentes de área dividen a las fuentes de emisión similares en categorías. Por lo general aquí se incluyen categorías tales como las siguientes:

- Combustión en fuente estacionaria
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras
- Uso de solventes
- Almacenamiento, transporte y distribución de productos
- Fuentes industriales ligeras y comerciales.
- Agricultura
- Manejo de residuos
- Fuentes de área misceláneas

A su vez, estas abarcan subcategorías que tienen similitudes entre sí como se verá más adelante.

### 3.3.1 Metodología

La metodología general empleada para las fuentes de área es la presentada en la sección 1.4.5 y consiste en el uso de un factor de emisión y un dato de actividad para cada subcategoría del inventario de fuentes de área. Sin embargo, en algunas ocasiones fue necesario hacer estimaciones para llegar ya sea a los datos de actividad, a los factores de emisión que se emplearían o a ambos. Para ello se siguieron principalmente los procedimientos descritos en el Volumen V – Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes de Área de los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (Radian International 1997). A continuación se presentan los factores de emisión empleados y las emisiones resultantes en cada categoría y subcategoría inventariada para las que pudieron obtenerse datos de actividad en La Paz junto con una breve descripción de cada una así como las consideraciones realizadas.

### 3.3.2 Combustión en fuentes estacionarias

En esta categoría se incluye normalmente calderas pequeñas, hornos, calefactores, calentadores de agua, motores y otros equipos de combustión de escala relativamente pequeña. En la caso de La Paz, en esta categoría se consideró la quema de gas LP en los sectores industrial, residencial, comercial y agrícola.

Consideraciones:

- El gas LP está constituido propano (60%) y butano (40%).
- Del gas LP total usado (24 322 toneladas/año, ver sección 2.4), el 3.6% se pierde en fugas durante su manejo y distribución (Radian International 1997).

- Con base en datos del Balance Nacional de Energía 2013 (SENER 2014) se estimaron porcentajes nacionales de consumo de gas LP por sector (excluyendo el transporte): industrial, 12.1%; residencial, 68.9%; comercial, 17%; agrícola, 2%.
- Se obtuvieron factores de emisión de WebFIRE para usos industriales y comerciales/institucionales. Para los sectores residencial y agrícola se utilizaron los factores reportados para usos comerciales/institucionales.

Los resultados se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para la combustión de gas LP por sector.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (lb/1000 gal)						Emisiones totales (toneladas/año)					
			COV	CO	NO2	SO2	PM 10	PM 2.5	COV	CO	NO2	SO2	PM 10	PM 2.5
Combustión industrial	2 831.31	tonelada	0.34*	3.36	19.80	0.74	0.60	0.60	0.21	2.11	12.45	0.47	0.38	0.38
Combustión doméstica	16 149.49	tonelada	0.34*	1.98	14.40	0.74	0.44	0.44	1.22	7.10	51.66	2.65	1.58	1.58
Combustión comercial	4 087.02	tonelada	0.34*	1.98	14.40	0.74	0.44	0.44	0.31	1.80	13.07	0.67	0.40	0.40
Combustión agrícola	378.97	tonelada	0.34*	1.98	14.40	0.74	0.44	0.44	0.03	0.17	1.21	0.06	0.04	0.04
<b>TOTAL</b>									<b>1.77</b>	<b>11.18</b>	<b>78.39</b>	<b>3.85</b>	<b>2.39</b>	<b>2.39</b>

Factores de emisión integrados como 60% propano y 40% butano a partir de datos de WebFIRE.

\* Estimado como la resta del factor de emisión de gases orgánicos totales menos el metano obtenidos.

### 3.3.3 Fuentes móviles que no circulan por carreteras

#### 3.3.3.1 Embarcaciones marítimas comerciales

Aquí se incluyen embarcaciones que pueden ir desde botes charter de 7 metros de eslora, hasta grandes buques-tanque y embarcaciones militares que pueden exceder los 300 metros de eslora. La mayor parte de las embarcaciones incluidas en esta categoría tiene motores diésel (embarcaciones de motor) o turbinas de vapor (barcos de vapor), mientras que los motores de gasolina no son utilizados en este tipo de embarcaciones. Así, en las embarcaciones de motor se utilizan tanto aceites combustibles destilados como residuales o mezclas de ellos.

Consideraciones:

- Para embarcaciones de motor, las emisiones de gases orgánicos reactivos (GOR) constituyen 97.2% de los gases orgánicos totales (GOT) (destilado). Desde aquí y en lo subsecuente para las fuentes de área se considera que las emisiones de GOR son equivalentes a COV. Las relaciones empleadas para estos fines se pueden consultar en el Anexo (Fuentes de área, página 136).
- Se empleó el método de movimiento del barco (Radian International 1997) tanto para el Puerto de La Paz como para el Puerto de Pichilingue. Para ello se consideró que la distancia desde el límite exterior del área de estudio hasta el centroide de los puertos es de 30 km.

Además también se consideró que:

- El Puerto de La Paz fue visitado por 510 embarcaciones en el 2013, incluyendo buques, transbordadores y cruceros ecoturísticos.
- Los buques, costeros y transbordadores arribados en este puerto tienen calado mayor 6 metros y los cruceros ecoturísticos tienen calados de entre 4 y 6 metros.

- El número de días que estas están ancladas a muelle es de 0.708 (17 horas) en promedio.
- El Puerto de Pichilingue fue visitado por 847 embarcaciones en el 2013, incluyendo buques, transbordadores, cruceros y embarcaciones pequeñas.
- Todas las embarcaciones arribadas en este puerto tienen calado entre 4 y 6 metros con excepción de las pequeñas embarcaciones que cuentan con un calado de 2 a 4 metros.
- El número de días que estas están ancladas a muelle es de 0.354 (8.5 horas) en promedio.

Los datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales pueden verse en la Tabla 24.

#### 3.3.3.2 Aeronaves

Para inventariar las emisiones derivadas de aeronaves deben considerarse desde las naves más pequeñas hasta las de mayor tamaño y considerar también la naturaleza de la actividad que realizan (para aviación civil: aeronaves comerciales, aerotaxis y aeronaves de aviación en general). La mayor fuente de emisiones son las operaciones de vuelos comerciales.

Para fines de un inventario de emisiones deben considerarse las emisiones producidas por debajo de la altura de inversión tanto al despegue como al aterrizaje. Por debajo de esta altura el aire es más estable que a alturas superiores y no son transportadas, impactando la calidad del aire a alturas inferiores debido a los fenómenos de difusión y mezcla que se dan entre la altura de inversión y el piso.

Para propósitos del desarrollo del inventario, se considera que existen cinco modos de operación de una aeronave (Radian International 1997), que integran el ciclo de aterrizaje y despegue (AD). Con base en ellos se estiman las emisiones de la aviación dependiendo del tiempo que las aeronaves pasen en cada modo (Tiempo en Modo, TIM, por sus siglas en inglés).

- Aproximación (30-40% de estrangulación)
- Carreteo/reposo llegada (3-7% de estrangulación)
- Carreteo/reposo salida (3-7% de estrangulación)
- Despegue (100% de estrangulación)
- Ascenso (85-90% de estrangulación)

Consideraciones:

- Para aviones de reacción, las emisiones de GOR constituyen 84.4% del GOT.
- El tiempo de despegue es bastante estándar para los aviones comerciales, y representa el tiempo para el ascenso inicial desde nivel de tierra hasta aproximadamente 150 metros. El tiempo de despegue por omisión para calcular las emisiones es del 0.7 minutos (42 segundos) y es el que se usó en este trabajo.
- El tiempo en los modos de aproximación y ascenso dependen de la altura de la capa de mezcla. Una altura de capa de mezcla por omisión de 900 metros fue supuesta para calcular un tiempo de aproximación de 4 minutos y un tiempo de ascenso de 2.2 minutos por no disponer de información específica sobre la altura de la capa mezcla.
- La altura de techo para el aeropuerto de La Paz es de 800 metros.
- Para los cálculos de un inventario, los tiempos en modo de carreteo y reposo de llegada o salida son sumados para obtener el tiempo total.
- En el aeropuerto de La Paz se realizaron 3 415 vuelos en 2013.

- Los principales aviones utilizados son Boeing 767-300 (26% de estos usan motor Pratt- Whitney CF6 y 74% motor Rolls –Royce RB211) por Aeroméxico (2,276 vuelos); y Embraer (motor Pratt- Whitney CF6A) por Volaris (1 139 vuelos).
- Los datos de tiempo de carreteo de entrada y salida del aeropuerto son de 15 minutos.

Los datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales pueden verse a continuación en la Tabla 24.

**Tabla 24 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para fuentes móviles que no circulan por carretera.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (kg/1000 L)				Emisiones totales (toneladas/año)				
			COV	CO	NO2	SO2	COV	CO	NO2	SO2	
<b>Embarcaciones marítimas en ruta</b>											
LA PAZ											
	Trasbordadores costeros	873 581.00	L/año	6.16	13.18	32.35	3.24	5.23	11.51	28.26	2.83
	Buques	326 366.00	L/año	6.16	13.18	32.35	3.24	1.95	4.30	10.56	1.06
	Cruceros ecoturísticos	17 780.00	L/año	2.07	7.45	20.03	3.24	0.04	0.13	0.36	0.06
PICHILINGUE											
	Trasbordadores costeros	1258 840.00	L/año	6.16	13.18	32.35	3.24	7.54	16.59	40.72	4.08
	Buques	399 982.00	L/año	6.16	13.18	32.35	3.24	2.39	5.27	12.94	1.30
	Cruceros	1 693.00	L/año	2.07	7.45	20.03	3.24	0.00	0.01	0.03	0.01
	Embarcaciones menores	32 560.00	L/año	5.48	11.95	40.57	3.24	0.17	0.39	1.32	0.11
<b>Embarcaciones marítimas puerto</b>											
LA PAZ											
	Trasbordadores costeros	629 912.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	4.45	3.32	27.48	2.04
	Buques	235 332.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	1.66	1.24	10.27	0.76
	Cruceros ecoturísticos	37 158.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	0.26	0.20	1.62	0.12
PICHILINGUE											
	Trasbordadores costeros	453 855.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	3.21	2.39	19.80	1.47
	Buques	144 207.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	1.02	0.76	6.29	0.47
	Cruceros	1 769.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	0.01	0.01	0.08	0.01
	Embarcaciones menores	149 512.00	L/año	7.27	5.27	43.62	3.24	1.06	0.79	6.52	0.48
<b>Aeronaves</b>											
	Aeromexico	2 276.00	L/año	1.40	5.45	0.03	0.01	2.69	12.40	0.07	0.01
	Volaris	1 139.00	L/año	0.71	5.45	0.03	0.01	0.69	6.21	0.03	0.01
<b>TOTAL</b>								<b>32.38</b>	<b>65.53</b>	<b>166.34</b>	<b>14.80</b>

### 3.3.4 Uso de solventes

En esta sección se inventariaron las emisiones derivadas del uso de solventes provenientes de las subcategorías de:

- Lavado en seco
- Pintura para señalización vial
- Recubrimiento de superficies industriales
- Pintado de carrocerías
- Artes gráficas
- Uso doméstico y comercial de solventes
- Limpieza de superficies industriales
- Recubrimiento de superficies arquitectónicas

La Tabla 25 (página 97) muestra los datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales de esta categoría, las cuales consisten únicamente de compuestos orgánicos volátiles.

**Tabla 25 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para uso de solventes.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (kg/hab)	Emisiones totales (toneladas/año)
			GOT	COV*
Lavado en seco	243 497	hab	0.86	209.41
Pintura para señalización vial	243 497	hab	0.04	9.74
Recubrimiento de superficies industriales	243 497	hab	1.28	311.68
Pintado de carrocerías	243 497	hab	0.14	33.68
Artes gráficas	243 497	hab	0.59	143.66
Uso doméstico y comercial de solventes				
Productos en aerosol	243 497	hab	0.07	16.31
Productos domésticos	243 497	hab	0.52	126.62
Productos de cuidado personal	243 497	hab	1.52	370.12
Productos de cuidado automotriz	243 497	hab	0.88	214.28
Adhesivos y selladores	243 497	hab	0.38	92.53
Pesticidas comerciales y domésticos	243 497	hab	1.17	284.89
Productos misceláneos	243 497	hab	4.58	1 115.22
Limpieza de superficies industriales	243 497	hab	3.27	796.24
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	243 497	hab	1.36	288.33
<b>TOTAL</b>				<b>2 151.42</b>

\* Para hacer el ajuste de GOT a COV se utilizaron las relaciones GOR/GOT para cada categoría y subcategoría incluidos en (Radian International 1997).

### 3.3.5 Almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo

En esta categoría se contabilizan fuentes de evaporación de derivados del petróleo que se encuentran dispersas en la zona del inventario y que por su naturaleza son muy numerosas tales como descargas de pipas en estaciones de servicio, recarga de combustible o fugas de hidrocarburos.

#### 3.3.5.1 Manejo y distribución de gas LP

Es claro que el uso de gas LP conlleva la liberación de emisiones a la atmósfera. Sin embargo, el manejo y su distribución también acarrea emisiones como

resultado de fugas de este combustible en diversos momentos de la cadena de abastecimiento que tiene por objetivo el uso final del gas LP, sobre todo en usos residenciales como se vio anteriormente en la sección 3.3.2 tanto para cocinar como para calentar agua.

Consideraciones:

- El 3.6% del gas LP se pierde en fugas durante su manejo y distribución (Radian International 1997). Total antes de pérdidas: 24 322 toneladas/año (ver sección 2.4).

#### 3.3.5.2 Manejo y distribución de gasolinas y diésel

En la ciudad de La Paz, la gasolina es transportada en pipas hasta las estaciones de servicio (gasolineras). Las subcategorías que a continuación se presentan se refieren a las emisiones que suceden durante el transporte de estos combustibles por vías terrestres hasta las estaciones de servicio, las emisiones producidas al reabastecer los tanques de almacenamiento de estas estaciones y las emisiones producidas por evaporación durante recargas de combustible a vehículos.

#### 3.3.5.3 Recarga de combustible a aeronaves

En este rubro se incluyen las emisiones resultantes del proceso de recarga de gas avión o turbosina (principalmente) que se originan al recargar combustible a las aeronaves, lo cual expulsa el aire cargado de vapor de combustible desde el tanque hacia la atmósfera.

La Tabla 26 muestra los datos de actividad, factores de emisión y emisiones estimadas para el almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo.

**Tabla 26 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para el almacenamiento, transporte y distribución de gasolinas, diésel y gas LP.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (mg/L)	Emisiones totales (toneladas/año)
			GOT	COV*
Manejo y distribución de gas licuado de petróleo	24 322.40	ton/año	3.6%	875.61
Manejo y distribución de gasolina y diésel			0.00	0.00
Descarga de pipas Magna	171 795.28	m3/año	1 380.00	237.08
Descarga de pipas Premium	54 835.70	m3/año	1 380.00	75.67
Descarga de pipas diésel	82 764.05	m3/año	1 380.00	97.08
Pérdida de respiración de tanques subterráneos Magna	171 795.28	m3/año	120.00	20.62
Pérdida de respiración de tanques subterráneos Premium	54 835.70	m3/año	120.00	6.58
Pérdida de respiración de tanques subterráneos diésel	82 764.05	m3/año	120.00	8.44
Pérdida de respiración de pipas en tránsito Magna	171 795.28	m3/año	7	1.20
Pérdida de respiración de pipas en tránsito Premium	54 835.70	m3/año	7	0.38
Pérdida de respiración de pipas en tránsito diésel	82 764.05	m3/año	7	0.49
Pérdida por carga de combustible y derrames Magna	171 795.28	m3/año	1400	240.51
Pérdida por carga de combustible y derrames Premium	54 835.70	m3/año	1400	76.77
Pérdida por carga de combustible y derrames diésel	82 764.05	m3/año	1400	98.49
Emisiones por carga de combustible de aeronaves	18 416.32	m3/año	7.24	0.13
<b>TOTAL</b>				<b>1 739.06</b>

\* Para hacer el ajuste de GOT a COV se utilizaron las relaciones GOR/GOT para cada categoría y subcategoría incluidos en (Radian International 1997).

### 3.3.6 Fuentes industriales ligeras y comerciales

#### 3.3.6.1 Asado al carbón

Aquí se incluyen las emisiones de la cocción de carnes sobre una flama abierta en establecimientos comerciales, donde se permite que la grasa escurra hacia adentro de la flama. En los procesos de asado de este tipo los contaminantes de

interés son las PM 10, las cuales son en su gran mayoría en este caso de tamaños de menos de una micra con una proporción importante de carbono orgánico (Radian International 1997). Es estos procesos, se sabe que el tipo de combustible usado, el tipo de carne asado, el contenido de grasa de la carne y la temperatura de la flama afectan todos a las emisiones generadas.

Consideraciones:

- Durante el 2013 se registraron 54 establecimientos de carne asada, 45 de pollos asados y 19 de pescados y mariscos.
- Se consideró un promedio de carnes asadas por día de 60 kg en cada establecimiento.

Los resultados de esta y las siguientes subcategorías se muestran en la Tabla 27.

#### 3.3.6.2 Ladrilleras

El principal energético en la producción de ladrillos mediante hornos domésticos en México es la leña aunque también hay reportes de utilización de basura o solventes de desecho.

Consideraciones:

- La cantidad de combustible quemado para la fabricación de ladrillos y productos a base de arcilla es determinada por la cantidad de hornos.
- La ciudad de La Paz cuenta con 2 ladrilleras, teniendo en promedio 1 horno por ladrillera consolidada.
- Se asumió que cada horno tiene una producción de 16 000 ladrillos y productos de arcilla diarios en promedio.

- Se requieren aproximadamente 5 000 BTU (1 260 kcal) para hornear un ladrillo de 2.2 kg.
- Se asumió un poder calorífico para la leña de 3 720 kcal/kg

### 3.3.6.3 Panificadoras

El proceso de fermentación en la elaboración de pan genera emisiones de hidrocarburos de origen biológico (principalmente etanol). Variables como el tiempo de levantado para la levadura, la cantidad de azúcares fermentables en la masa y la temperatura de fermentación afectan las emisiones del proceso. Si el proceso no involucra la fermentación con levaduras, entonces no se generan gases orgánicos.

Consideraciones:

- La ciudad de La Paz cuenta con una población total de 243 497 habitantes para 2013.
- Factor de emisión de GOT es de 0.14 kg/persona-año.

**Tabla 27 Datos de actividad, factores de emisión y emisiones totales para fuentes industriales ligeras y comerciales.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (g/kg)					Emisiones totales (toneladas/año)				
			COV	CO	NO2	SO2	PM 10	COV	CO	NO2	SO2	PM 10
Asado al carbón												
Asado de Pollo	985 500.00	kg carne/año	1.80	0.00	0.00	0.00	10.40	1.77	0.00	0.00	0.00	10.25
Asado de Carne	1 182 600.00	kg carne/año	3.90	0.00	0.00	0.00	32.70	4.61	0.00	0.00	0.00	38.67
Asado de Mariscos	416 100.00	kg carne/año	0.40	0.00	0.00	0.00	3.20	0.17	0.00	0.00	0.00	1.33
Ladrilleras	3 956 129.03	kg leña/año	114.50	126.30	1.30	0.20	17.30	187.99	499.66	5.14	0.79	68.44
Panificadoras	243 497.00	hab	0.14**	0.00	0.00	0.00	0.00	34.09	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>								<b>228.63</b>	<b>499.66</b>	<b>5.14</b>	<b>0.79</b>	<b>118.69</b>

\* Para hacer el ajuste de GOT a COV se utilizaron las relaciones GOR/GOT para cada categoría y subcategoría incluidos en (Radian Internacional 1997).

\*\* Unidades: kg/habitante-año

### 3.3.7 Manejo de residuos

#### 3.3.7.1 Tratamiento de aguas residuales

Existen distintos métodos para el tratamiento de las aguas residuales. Por lo general estas se colectan y se someten a una serie de procesos para producir agua tratada con parámetros de calidad que dependen del uso final que se le vaya a dar. Desde el punto de vista de emisiones de contaminantes, las aguas residuales, principalmente industriales, pueden contener cantidades importantes de compuestos orgánicos que se liberan a la atmósfera durante el proceso de tratamiento. En la ciudad de La Paz la planta de tratamiento de aguas residuales trata aguas domésticas, institucionales y comerciales, así como agua de alcantarillado y desde los escurrimientos pluviales.

#### Consideraciones:

- La planta municipal de tratamiento de aguas residuales en La Paz tiene una capacidad de 450 L/s
- Existe una segunda planta de tratamiento de aguas residuales. Esta es privada, se ubica en el desarrollo de Costa Baja y tiene una capacidad de 60 L/s.
- Se asumió que ambas plantas operan al 100% de su capacidad.

Las emisiones estimadas se muestran en la Tabla 28

**Tabla 28 Datos de actividad, factor de emisión y emisiones totales del tratamiento de aguas residuales.**

	Dato de actividad	Unidad	Factor de emisión (lb/Mgal)	Emisiones totales (toneladas/año)
			COV	COV
Aguas residuales tratadas	16 083 360 000.00	L/año	8.9*	17.17

\* El factor de emisión fue obtenido de WebFIRE

### 3.3.8 Agricultura

Esta categoría incluye emisiones derivadas de actividades agrícolas y también de actividades ganaderas o pecuarias. Para el caso de La Paz se inventariaron las emisiones de PM 10 provenientes de actividades de labranza así como de corrales de engorda.

#### 3.3.8.1 Actividades de labranza

Para estimar las emisiones de esta subcategoría se empleó la siguiente ecuación (Radian International 1997):

$$E_c = 5,38(s)^{0.6} * k * HP_c * \text{Área}_c$$

Donde

$s$  es el contenido de sedimento del suelo (%) – valor por defecto: 18%

$k$  es un multiplicador según el tamaño de partícula – para PM 10 vale 0.21

$HP_c$  es el número de hectáreas-pases por hectárea para el cultivo tipo  $c$

$\text{Área}_c$  es el área total cultivada del cultivo tipo  $c$

Para estimar las emisiones por tipo de cultivo se utilizó el 50% del área sembrada reportada por el INEGI para el municipio de La Paz (INEGI 2014a)<sup>9</sup>. Se asumió también que estas superficies son labradas 2 veces al año y que en los cultivos de campo se labra el 100% del terreno mientras que en los de tipo huerto se labra el

---

<sup>9</sup> La explicación del uso de este porcentaje se presenta más adelante en la sección 3.4.2.1.

15%. Con estas consideraciones se obtuvieron las emisiones de PM 10 que se presentan en la Tabla 29.

**Tabla 29 Emisiones de PM 10 por labranza agrícola.**

Cultivo	Superficie sembrada	PM 10
	(ha)	(tonelada/año)
Tomate	262	3.35
Chile	321.5	4.12
Alfalfa	142	1.82
Pepino	35	0.45
Maíz	112.5	1.44
Naranja	60	0.12
Mango	57	0.11
Tomate verde	29.5	0.38
Albahaca	56	0.72
Frijol	30	0.38
Espárrago	135.5	1.73
TOTAL		14.61

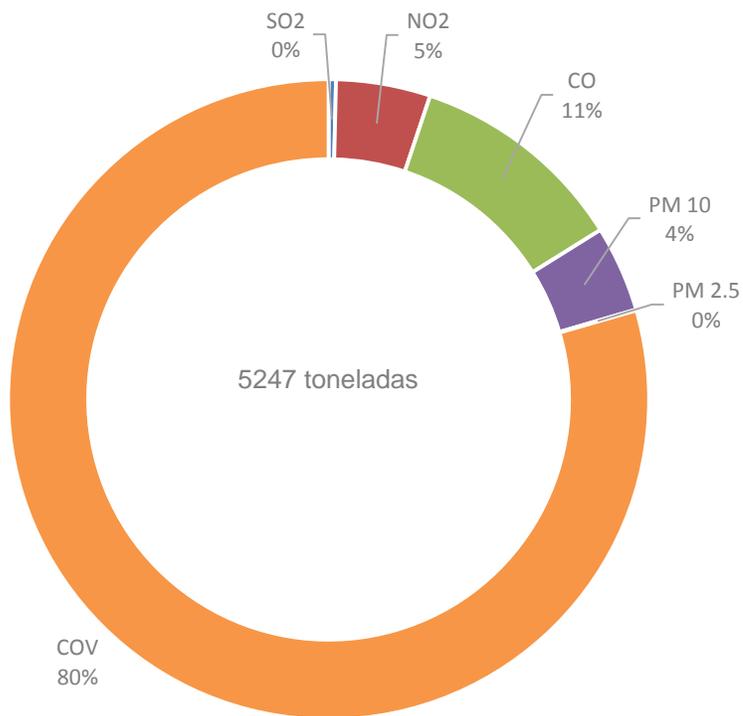
### 3.3.8.2 Corrales de engorda de ganado vacuno

La estimación de las emisiones de PM 10 de esta subcategoría se realizó tomando en consideración la producción de ganado en el municipio que para 2013 fue de 7 719 animales sacrificados (SAGARPA 2015). Asimismo se utilizó un factor de emisión de 12 toneladas de PM 10 por 1000 cabezas de producción (Radian International 1997). Con estos datos se estimó un total de 92.63 toneladas de PM 10 para 2013.

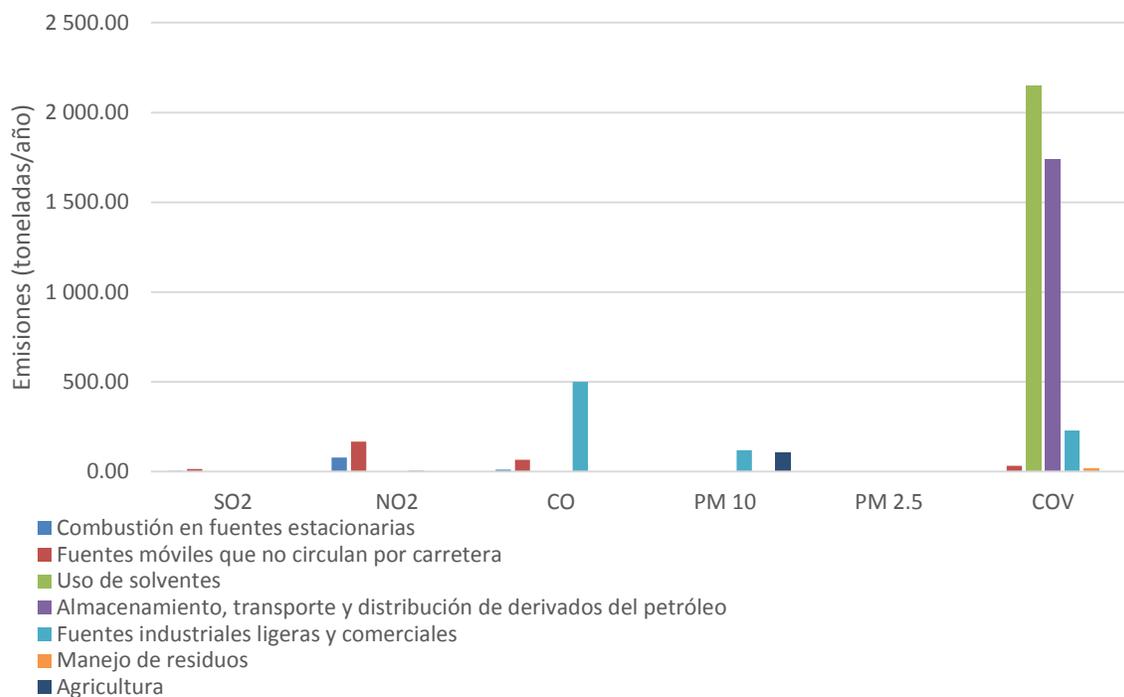
### 3.3.9 Emisiones totales de fuentes de área

La agregación de las emisiones obtenidas en los apartados anteriores dio como resultado un total para 2013 de 5 247 toneladas de contaminantes. La distribución por contaminante se presenta en la Figura 19 y la participación de cada categoría

se muestra en la Figura 20 y en la Tabla 30. Como se observa, la mayor parte de las emisiones de las fuentes de área corresponden a compuestos orgánicos volátiles que vienen principalmente del uso de solventes y del manejo de derivados del petróleo.



**Figura 19 Contribución porcentual por contaminante a las emisiones de fuentes de área.**



**Figura 20 Emisiones de las fuentes de área por contaminante y por categoría.**

**Tabla 30 Emisiones totales de fuentes de área.**

CATEGORÍA	Emisiones (toneladas/año)						TOTAL
	SO2	NO2	CO	PM 10	PM 2.5	COV	
Combustión en fuentes estacionarias	3.85	78.39	11.18	2.39	2.39	1.77	99.98
Fuentes móviles que no circulan por carretera	14.80	166.34	65.53	0.00	0.00	32.38	279.04
Uso de solventes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2 151.42	2 151.42
Almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1 739.06	1 739.06
Fuentes industriales ligeras y comerciales	0.79	5.14	499.66	118.69	0.00	228.63	852.91
Manejo de residuos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.17	17.17
Agricultura	0.00	0.00	0.00	107.24	0.00	0.00	107.24
<b>TOTAL</b>	<b>19.44</b>	<b>249.88</b>	<b>576.36</b>	<b>228.32</b>	<b>2.39</b>	<b>4 170.43</b>	<b>5 246.83</b>



### 3.4 Fuentes naturales

Todas aquellas fuentes que emiten contaminantes y que no tienen un origen directamente antropogénico se consideran fuentes naturales (Velasco et al. 2004). Estas pueden definirse como biogénicas o geogénicas. Las primeras incluyen emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) generadas por cultivos o emisiones del suelo y se ocasionan por los ciclos biogeoquímicos de la vegetación. Las segundas son de origen geológico, como manantiales, volcanes o géiseres.

Existen diversos modelos para la medición de las emisiones biogénicas, la mayoría de estos utilizan los siguientes criterios:

- Áreas de uso de suelo
- Factores de biomasa de las hojas
- Factores de emisiones
- Factores ambientales

El factor de emisión estándar representa la liberación en forma gaseosa de cada uno de los compuestos bajo condiciones estándar de temperatura (30°C) y luz (radiación fotosintética activa; PAR = 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y se relaciona con la biomasa foliar y el tiempo (Velasco et al. 2004). Cada tipo de vegetación muestra un espectro de emisión característico, ya que cada especie de planta tiene una razón y beneficio propio de la producción y emisión de ciertos compuestos específicos. La obtención de los factores de emisión para las especies vegetales se ve condicionada por aspectos como la metodología seguida para el muestreo, la localización geográfica, o las condiciones ambientales.

### 3.4.1 Vegetación local

En el municipio de La Paz, la vegetación predominante es la del tipo matorral xerófilo, ocupando alrededor del 78% de la superficie del municipio de La Paz. Las principales especies vegetales que componen al matorral en Baja California Sur son el cardón (*Pachycereus pringlei*), la pitahaya (*Stenocereus gummosus*), el ocotillo (*Fouquieria diguetii*), y el lomboy (*Jatropha cinérea*) (INEGI 2014a).

La vegetación de matorral y xerófila, por su densidad y pérdida de masa foliar durante varios meses del año, resulta en las menores tasas de emisión que se registran (Landa Fonseca 2005). Por lo tanto no se esperan altas tasas de emisiones biogénicas en cuanto a la vegetación no cultivada en el área de estudio. Aún así, la cuantificación de las emisiones biogénicas es de especial importancia al realizar un inventario de emisiones, ya que al incrementar la urbanización se produce una reducción del área cubierta por vegetación lo que impacta directamente en las emisiones producidas por el cambio de uso de suelo (Velasco et al. 2004). Además, aunque estas emisiones no deben considerarse como contaminantes por ser parte de los ciclos naturales del planeta, debido a la reactividad de los compuestos emitidos, contribuyen a la formación de ozono y otros contaminantes tóxicos (Parra et al. 2004; Velasco 2003) y por lo tanto, han de ser tomados en cuenta al estudiar la dinámica de emisiones en un territorio.

### 3.4.2 Metodología

El estudio se enfocó en las emisiones biogénicas. El método empleado utilizó como base los datos de usos de suelo municipales reportados para el municipio de La Paz, los factores de emisión de las principales especies clasificadas en cierto tipo de vegetación y de los principales cultivos agrícolas en el municipio. Se siguió el modelo de emisiones biogénicas de Pierce et al. (1991). Los datos obtenidos a partir de la versión de computadora personal para un sistema de

inventario de emisiones biogénicas (Pierce et al. 1991) fueron ajustados a las condiciones estándar reportadas en la literatura (Velasco 2003) (temperatura 30°C, luz radiación fotosintética activa PAR 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

### 3.4.2.1 Análisis de usos de suelo

Primeramente, a partir de los porcentajes reportados para los usos de suelo en el municipio de La Paz (INEGI, 2010) se estimó la superficie que cada tipo de uso de suelo ocupa. Los resultados de este cálculo se presentan en la Tabla 31.

**Tabla 31 Usos del suelo municipal.  
Elaboración propia con datos de (INEGI 2010, 2016a)**

Uso del suelo	Superficie municipal (km <sup>2</sup> )
Agricultura	192.5
Zonas urbanas	67.7
Acuícola	1.5
Matorral	12 090.0
Selva	2 111.0
Bosque	244.8
Pastizal	75.4
Vegetación de galerías	47.7
Manglar	38.5
Mezquital	33.9
Vegetación dunas costeras	30.8
<b>TOTAL MUNICIPAL</b>	<b>15 397.36</b>

Posteriormente para el caso de las emisiones provenientes del uso de suelo agrícola en el municipio, se consideró la superficie reportada de los principales cultivos sembrados en el municipio de La Paz de acuerdo con lo reportado en el Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur (2014) (Tabla 32). Para estimar la superficie ocupada por el cultivo en el área de estudio, se consideró que

los cultivos agrícolas ubicados en esta área corresponden al 50% de la superficie cultivada en el municipio (Ivanova Boncheva et al. 2013).

Para la descripción de los usos de suelo se tomó la clasificación presentada en la Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V (INEGI 2014b) (ver Anexo, Fuentes biogénicas en la página 140). Dado las características del área de estudio, sólo se tomaron en cuenta los usos de suelo nombrados agricultura y matorral, pues son aquellos más representativos de la vegetación y para los cuales la literatura reporta factores de emisión que pueden ser comparables.

**Tabla 32 Superficie sembrada en el municipio por tipo de cultivo.**  
Fuente: (INEGI 2014a).

Cultivo	Superficie sembrada en el municipio (ha)
Tomate	524
Chile	643
Alfalfa	284
Pepino	70
Maíz	225
Naranja	120
Mango	114
Tomate verde	59
Albahaca	112
Frijol	60
Espárrago	271
TOTAL	2482

#### 3.4.2.2 Modelo de emisiones biogénicas

El modelo se basa en el método para computadoras personales presentado por Pierce et al. (1991) a partir del software del “Biogenic Emissions Inventory System (BEIS)”.

Ecuación empleada:

$$ER_i = \sum_j A_j BF_j EF_{ij} F(S, T)_i$$

Donde:

**ER:** tasa de emisión, *i*: especie química

**A:** área para uso de la *j*: clase de suelo

**BF:** factor de biomasa de hojas

**EF:** factor de emisión

**Fi:** factor de ajuste ambiental que cuenta para radiación solar y temperatura de las hojas

*Nota:* La suma de los productos de *BF<sub>j</sub>* y *EF<sub>ij</sub>* se conoce como el flujo estándar de emisiones para esa especie química *i*.

El factor de emisión, el factor de biomasa de la hoja y el flujo estándar de emisiones (cuando no se contaba con el factor de emisión y/o factor de biomasa de las hojas) para isoprenos, monoterpenos, y otros compuestos orgánicos volátiles (OVOC) de las especies vegetales determinadas, fueron tomados del trabajo de emisiones biogénicas del Valle de México (Velasco 2003) y los ejemplos presentados por Pierce et al. (1991) y Geron et al. (1994) donde el factor de ajuste ambiental fue constante en 30°C y 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Para obtener el flujo estandarizado de emisión (FEE) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo estandarizado de emisión } (\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-h}) = BF_j (\text{g}/\text{m}^2) EF_{ij} (\mu\text{g}/(\text{g}_{\text{biomasa}})\text{-h})$$

A continuación se obtuvo la tasa de emisión de cada especie química para cada especie de planta mediante:

$$ER_i (\mu\text{g}/\text{h}) = FEE A_j (\text{m}^2)$$

A partir de la tasa de emisión se obtuvo la cantidad emitida anualmente para cada especie:

$$ER_i (\mu\text{g/h}) * 8760 \text{ h/año}$$

### 3.4.3 Emisiones de fuentes biogénicas

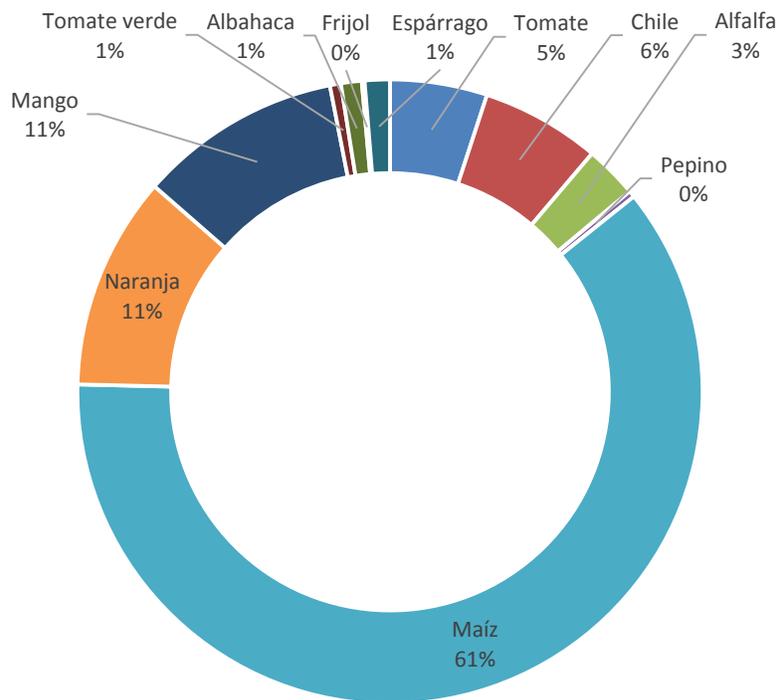
De acuerdo con los resultados obtenidos, los cultivos sembrados en el área de estudio liberan un total de 57.1 toneladas de COV en 2013 de las cuales el maíz aporta más de la mitad. La aportación de cada cultivo se presenta en la Tabla 33 y su contribución relativa se presenta en la Figura 21. Los flujos de emisión utilizados para estimar los COV emitidos se presentan en la Tabla 34.

**Tabla 33 Emisiones anuales por tipo de cultivo.**

Tipo de cultivo	Emisiones anuales de COV en el municipio (t)	Emisiones anuales de COV en el área de estudio (t)
Tomate	5.7	2.9
Chile	7.0	3.5
Alfalfa	3.1	1.6
Pepino	0.4	0.2
Maíz	69.8	34.9
Naranja	12.6	6.3
Mango	12.0	6.0
Tomate verde	0.6	0.3
Albahaca	1.2	0.6
Frijol	0.2	0.1
Espárrago	1.5	0.7
TOTAL	114.2	57.10

**Tabla 34 Flujos estandarizados de emisión de COV para los principales cultivos en el municipio de La Paz.**

Cultivo	Flujo estandarizado de emisión COV ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ )	Consideraciones
Tomate	125	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Chile	125	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Alfalfa	125	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Pepino	62.5	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Maíz	3541.5	El flujo estandarizado de emisión para el maíz se calculó a partir del factor de biomasa de la hoja y el factor de emisión de la especie reportados en las tasas de emisión estandarizadas, masa foliar y area de la hoja para las especies del Valle de México en el trabajo de Velasco (2003). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Naranja	1200	El flujo estandarizado de emisión de esta especie arbórea se calculó a partir del factor de emisión y la densidad foliar de la especie de acuerdo con la base de datos del modelo para la estimación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de los bosques de E.U. de Geron, Guenther y Pierce (1994). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Mango	1200	El flujo estandarizado de emisión de esta especie arbórea se calculó a partir del factor de emisión y la densidad foliar de la especie de acuerdo con la base de datos del modelo para la estimación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de los bosques de E.U. de Geron, Guenther y Pierce (1994). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Tomate verde	125	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Albahaca	125	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Frijol	31.25	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C
Espárrago	62.5	El flujo estandarizado de emisión para este cultivo se obtuvo a partir de los flujos estandarizados de emisión de hidrocarburos diferentes del metano usados en PC-BEIS reportados en el modelo de Pierce y Wldruff (1991). Estandarizado para luz solar brillante ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . ) y 30 grados C



**Figura 21 Contribución porcentual a las emisiones agrícolas por cultivo.**

Además de la agricultura, la vegetación nativa (matorral) también contribuye a las emisiones biogénicas. Estas se estimaron siguiendo la misma metodología que en el caso de los cultivos agrícolas pero empleando factores correspondientes a vegetación de zonas áridas (Velasco 2003). La superficie ocupada por este tipo de vegetación se estimó con base en la tasa de deforestación anual de la zona de estudio y la superficie de matorral reportadas para 2012 en el PACC-LAP (Ivanova Boncheva et al. 2013). Esto resultó en una superficie matorral de 232 269 ha y en un total de emisiones de COV de 4 398 toneladas en 2013. La Tabla 35 presenta las emisiones obtenidas para ambos tipos de uso de suelo relacionados con la vegetación. Como se observa, las emisiones de fuentes naturales están ampliamente dominadas por la vegetación de matorral. Esto se debe a que la

superficie del matorral es mucho mayor que la superficie de vegetación de cultivo en el área de estudio (2 482 ha).

**Tabla 35 Emisiones biogénicas totales (cultivos y matorral).**

Uso de suelo	Emisiones anuales de COV en el municipio (t)	Emisiones anuales de COV en el área de estudio (t)
Agricultura	114.2	57.1
Matorral	22 892.0	4 398.0
Total	23 006.2	4 455.1

### 3.5 Emisiones agregadas de todas las fuentes

Tras haber estimado las emisiones de contaminantes criterio para las fuentes fijas, móviles, de área y naturales, se procedió a agregarlas por contaminante y por fuente. Los resultados de la agregación se presentan primeramente en la Tabla 36 y de manera esquemática en el diagrama de Sankey de la Figura 22. Como se observa, la cantidad total de emisiones obtenida para 2013 fue de 55 381 toneladas. La contribución por fuente a las emisiones inventariadas fue como se presenta en la Figura 23.

**Tabla 36 Emisiones totales por fuente y contaminante para La Paz 2013.**

Tipo de fuente	Emisiones (Mg/año)						
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	PM 10	PM 2.5	COV	TOTAL
Fijas	14 345	12 481	2 582	839	284	16	30 546
Móviles	84	1 784	12 366	45	41	813	15 133
De área	19	250	576	228	2	4 170	5 247
Naturales						4 455	4 455
<b>TOTAL</b>	14 448	14 515	15 524	1 112	327	9 455	55 381

Como se observa en estas figuras, las fuentes fijas son el principal emisor de contaminantes criterio a la atmósfera por un amplio margen, seguido de las fuentes móviles y posteriormente las naturales y de área; estas últimas con valores muy similares. Sin embargo, la contribución de cada fuente a cada contaminante no es uniforme y merece ser revisado con detalle.

Como se observa en la Figura 24 y la Figura 25, las fuentes fijas son el principal emisor de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM 10 y PM 2.5 con una participación de por lo menos 75% del total de emisiones en estos casos e incluso llegando hasta el 99% en el caso de las emisiones de SO<sub>2</sub>. Por otro lado, la participación de las fuentes fijas fue mucho menos relevante en las emisiones de CO y prácticamente sin importancia en las de COV. Debe recordarse, como se mencionó en la sección 3.1.5 (página 69), que de las dos centrales incluidas en las fuentes fijas, la CCI Baja California Sur contribuye con un 88% a las emisiones totales y con porcentajes muy elevados en casi todos los contaminantes.

Asimismo, las fuentes móviles son el principal participante en las emisiones de CO con el 80% del total (ver Figura 26). Este contaminante es el que fue emitido en mayor volumen en el inventario (28.0%) seguido cercanamente por los óxidos de nitrógeno (26.2%) y los óxidos de azufre (26.1%), y por mayor margen por los COV (17.1%) y los materiales particulados PM 10 (2.0%) y PM 2.5 (0.6%). Las fuentes móviles tienen una pequeña participación en las emisiones de NO<sub>x</sub>, COV y partículas, y muy pequeña en el SO<sub>2</sub>.

Por su parte, las fuentes de área tienen su contribución más importante en las emisiones de COV (Figura 26) donde tienen una participación del 44%, así como en las de partículas PM 10, en donde contribuyen con un poco más de una quinta parte. Aquí, los asaderos, las actividades de labranza de la tierra y los corrales de engorda de ganado representan las mayores participaciones.

De igual manera, las fuentes naturales son el principal emisor de COV. En las emisiones totales de este contaminante las fuentes de área, ocupan un cercano segundo lugar seguidas de las fuentes móviles con una contribución pequeña.

Finalmente, es muy importante mencionar que el uso de energía en las distintas fuentes inventariadas ha sido de manera amplia y transversal la principal causa de los contaminantes emitidos en La Paz. El uso de energía se refiere a la quema de combustibles así como al manejo, distribución, almacenamiento y recarga de combustibles para la generación de electricidad en las fuentes fijas, el transporte en las fuentes móviles y algunas categorías en las fuentes de área tales como los asaderos o la distribución de hidrocarburos como el gas LP o las gasolinas en las cuales las emisiones son liberadas como consecuencia usar o del hacer posible el uso de energía. Bajo esta óptica el uso de energía es responsable de todas las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y PM 2.5 así como del 90% de las emisiones de PM 10 y el 30% de las de COV. De manera combinada, al uso de energía le corresponde el 88% de las emisiones totales.

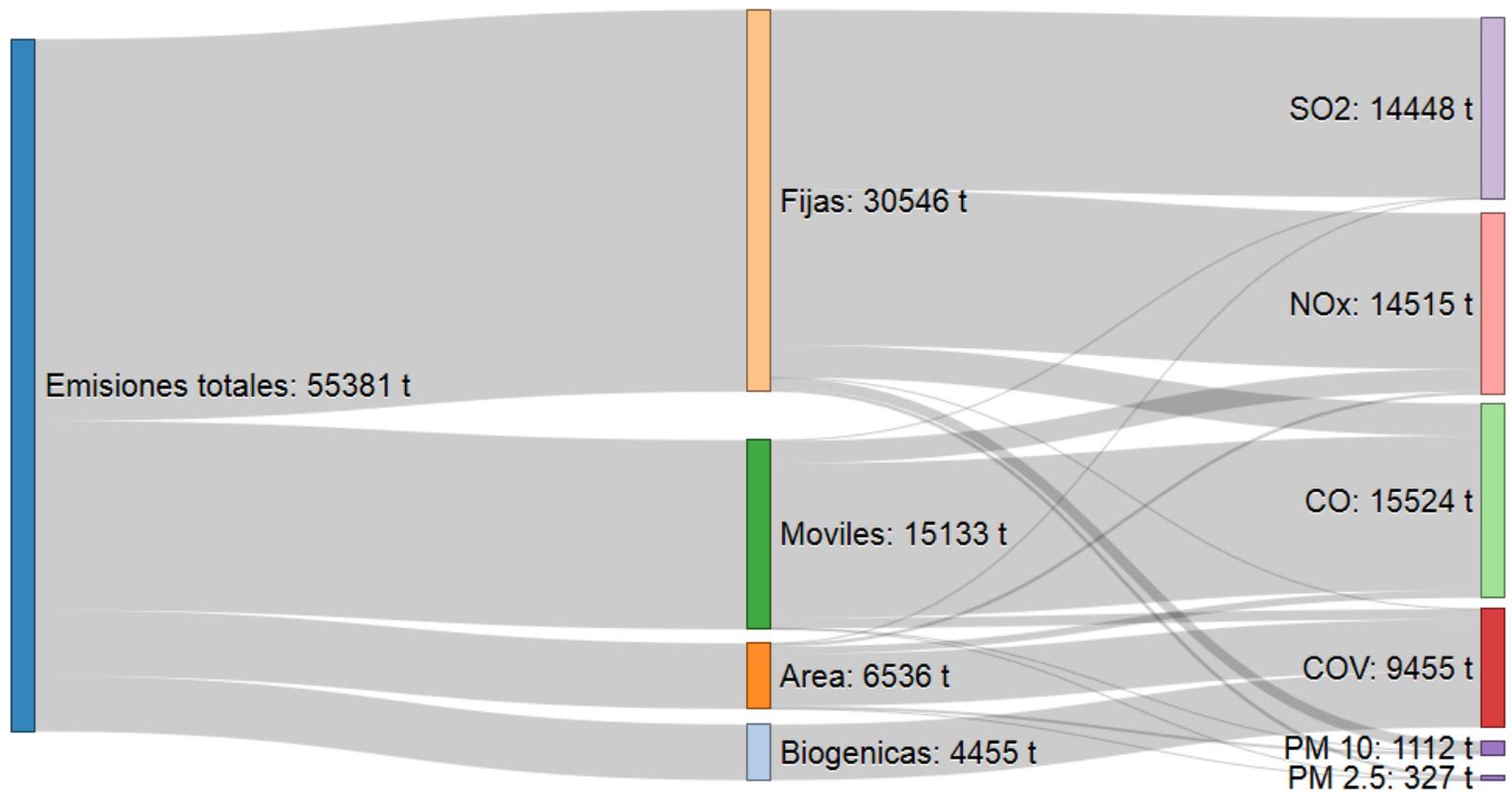
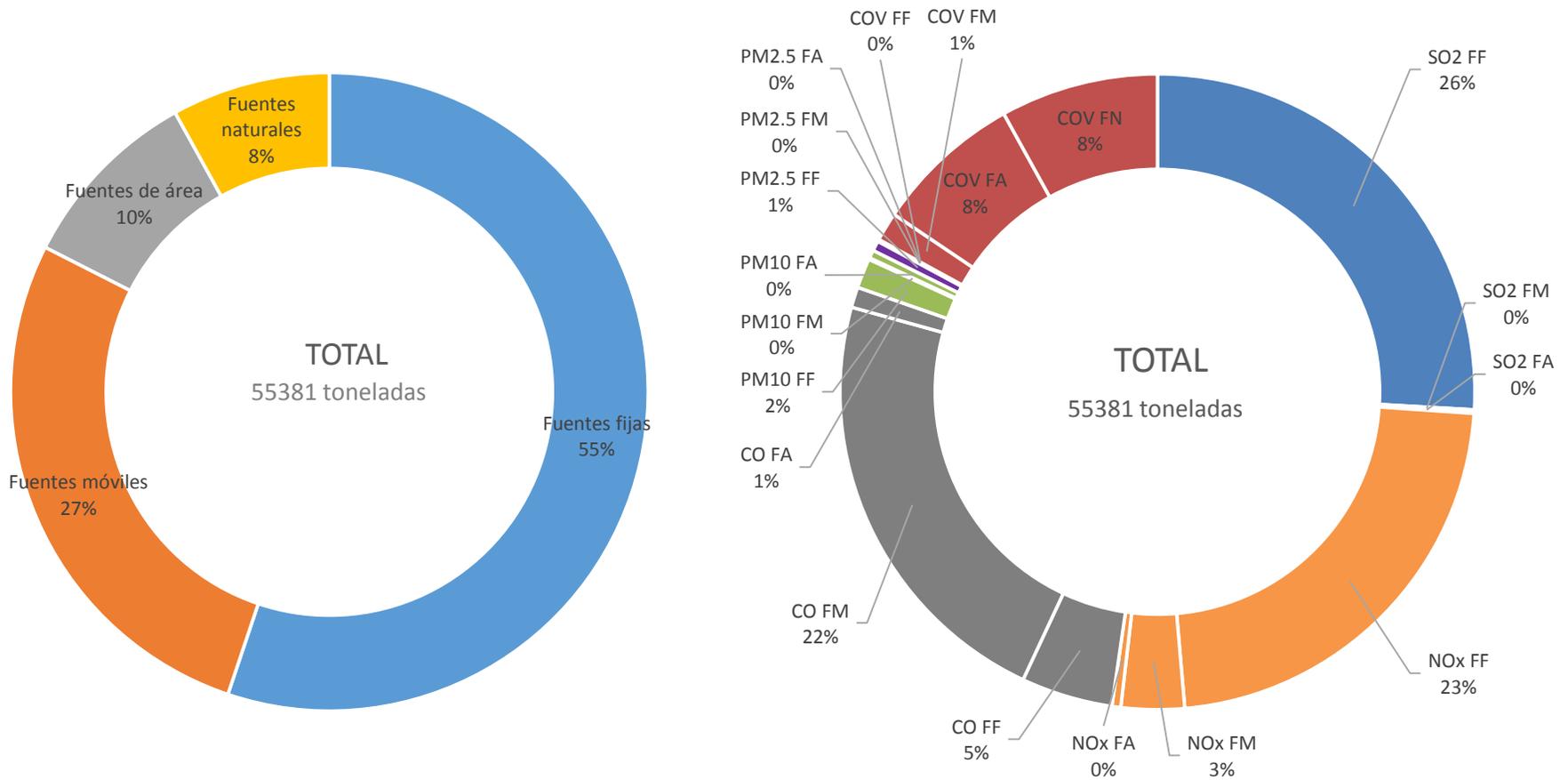
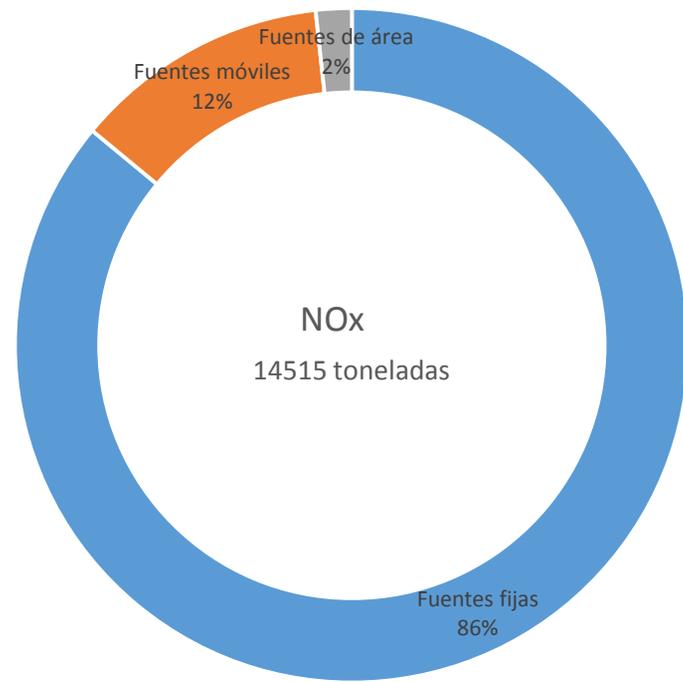
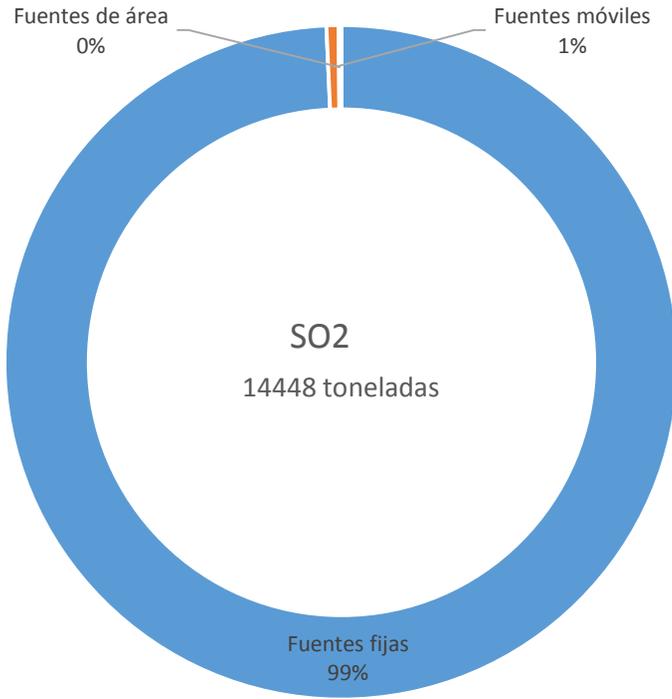


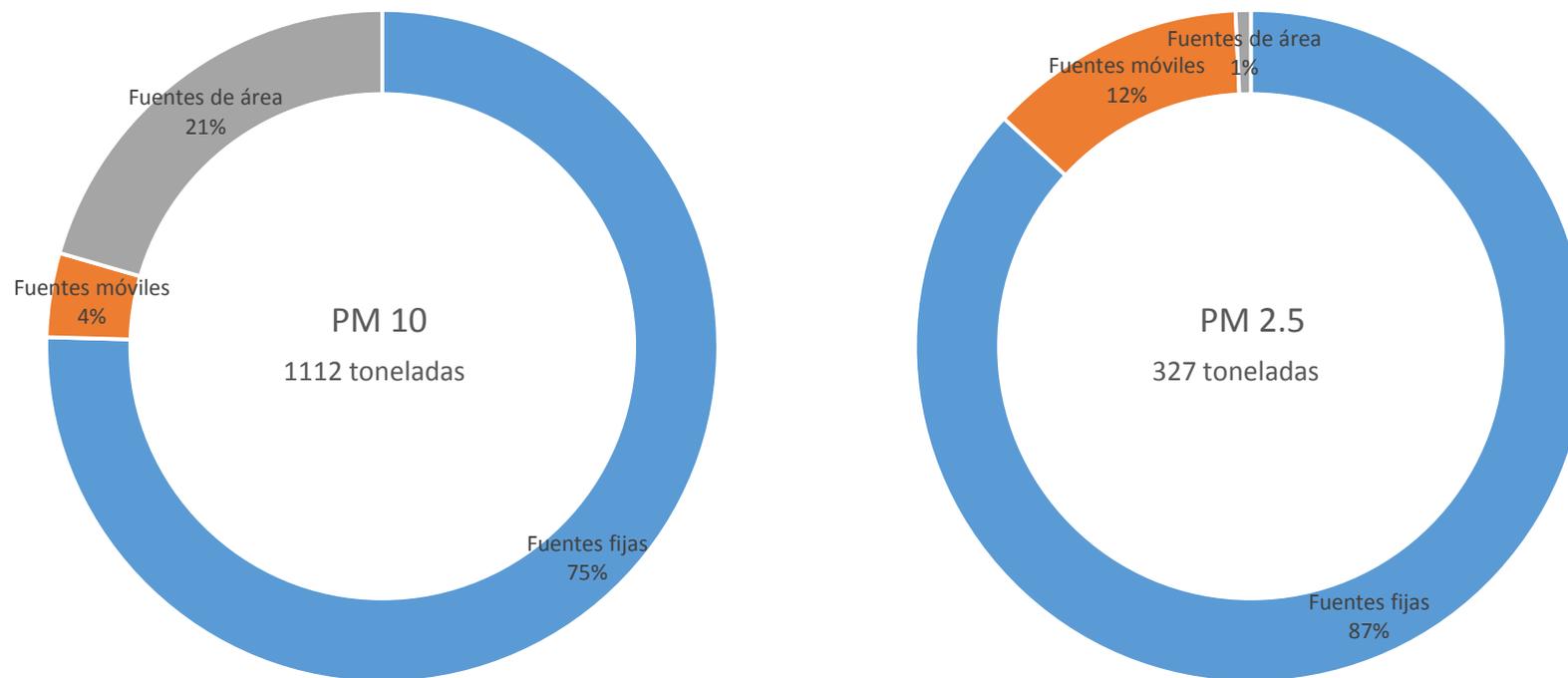
Figura 22. Diagrama de Sankey de las emisiones en La Paz en 2013.  
Los acetos fueron eliminados deliberadamente.



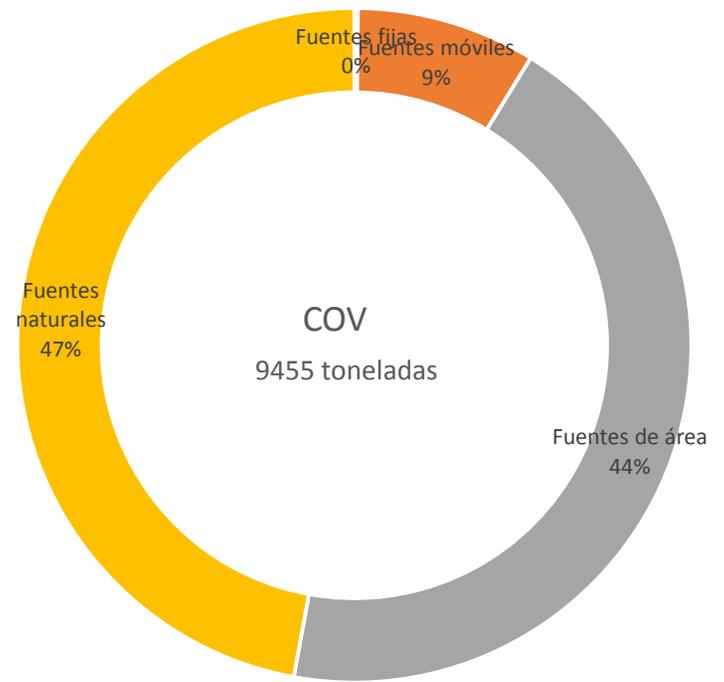
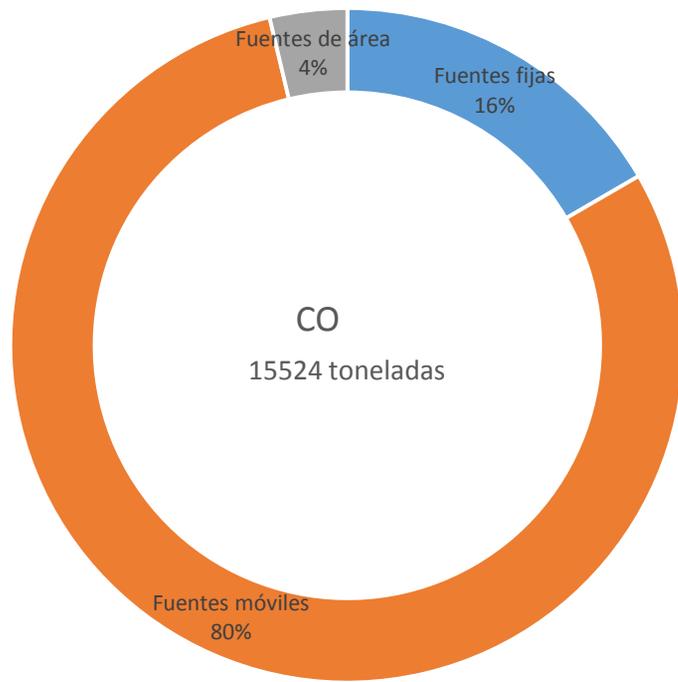
**Figura 23 Contribución por fuente y contaminante a las emisiones totales.**  
 FF, fuentes fijas; FM, fuentes móviles; FA, fuentes de área; FN, fuentes naturales.



**Figura 24 Distribución de las emisiones totales de SO2 y NOx por fuente.**



**Figura 25 Distribución de las emisiones totales de PM 10 y PM 2.5 por fuente.**



**Figura 26 Distribución de las emisiones totales de CO y COV por fuente.**



## 4 Conclusiones

La ciudad de La Paz está ubicada en una región de clima semidesértico y está situada a la orilla del mar. Esta característica le ha facilitado el que en esta ciudad arriben por mar los combustibles para transporte, generación de electricidad y producción de calor que se utilizan localmente y en otras partes del estado. Por ello, además de tener más de la mitad de la capacidad de generación eléctrica de Baja California Sur, La Paz es el corazón energético no solo municipal sino también estatal.

Sin embargo, esto no viene sin consecuencias. Una de ellas es la generación de grandes volúmenes de emisiones de contaminantes de diversa índole. La falta de información pública abierta y fácilmente accesible sobre la calidad del aire en La Paz dieron origen a este trabajo como primer paso para conocer de mejor manera qué se encuentra en el aire de la región para subsecuentemente en otras investigaciones investigar qué impactos podrían estarse generando así como planear la gestión de la calidad del aire local.

Como se esperaba desde el arranque de este trabajo, las categorías cuyas emisiones se derivan principalmente del uso de energía así como también del manejo, almacenamiento, distribución y recarga de combustibles son las que más emisiones aportan al inventario con un 88% del total. Por esta razón se planteó desde el inicio la elaboración de un balance energético para La Paz.

El balance energético de La Paz categorizó los usos de energía en tres grandes rubros: generación de electricidad, transporte y producción de calor. Posteriormente se clasificó a los principales energéticos utilizados en La Paz, que incluyeron combustóleo, diésel para diversos fines, gas LP, gasolinas, turbosina y energía solar, en estas tres categorías. Finalmente, se contabilizó la aportación energética de cada combustible en cada categoría lo cual resultó en un uso total de energía para 2013 que ascendió a 25 940 TJ. De ellos, el uso principal de

energía fue la generación de electricidad con una aportación ligeramente superior al 53%, seguido del transporte con 42% y un 5% de calor (ver Figura 12, página 49). Desde el punto de vista de los energéticos, los dos principales fueron el combustóleo, que aportó el 50% del total de energía usada en La Paz, seguido por las gasolinas con un 28%. Es conveniente tener en mente que las centrales eléctricas ubicadas en La Paz generan electricidad más allá de la consumida en la ciudad y que el excedente contribuye a abastecer el consumo eléctrico del sur del estado. Esto tiene como consecuencia que en La Paz se liberen a la atmósfera contaminantes originados por la generación de electricidad en cantidades que son mayores a lo que proporcionalmente le correspondería a la ciudad con base en su consumo eléctrico.

En este primer inventario de emisiones de contaminantes criterio se incluyeron óxidos de azufre y nitrógeno, material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras y a 2.5 micras, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles provenientes de cuatro tipos de fuentes: fijas, móviles, de área y naturales. El total de emisiones inventariadas para 2013 fue de 55 381 toneladas. De ellas, el 28% fue de CO, el 26.2% de NO<sub>x</sub>, el 26.1% de SO<sub>2</sub>, el 17.1% de COV, el 2% de PM 10 y el 0.6% de PM 2.5.

Por tipo de fuente, las fijas son las que más emisiones produjeron con un total de 30 546 toneladas y estuvieron constituidas mayoritariamente por SO<sub>2</sub> (14 345 toneladas) y NO<sub>x</sub> (12 481 toneladas). De las cuatro fuentes inventariadas (fijas, móviles, de área y naturales), las fijas contribuyen el 99% del SO<sub>2</sub> y el 86% de los NO<sub>x</sub>. Asimismo, las fuentes fijas fueron también el principal emisor de material particulado. Estas fuentes incluyeron a las dos centrales eléctricas que se localizan en La Paz: la CT Punta Prieta y la CCI Baja California Sur. De ellas, la segunda no contaba en 2013 con ningún tipo de control de emisiones y fue responsable del 88% de las emisiones de fuentes fijas pero solo contribuyó con 56% a la generación de electricidad. Por el contrario, la CT Punta Prieta cuenta con un sistema de control de emisiones a la atmósfera que reduce las emisiones de óxidos de azufre y material particulado además de que por la naturaleza del

proceso de generación eléctrica que emplea, sus niveles de emisión de NOx son mucho menores que los de la CCI Baja California Sur. Esto sugiere fuertemente que la CCI Baja California Sur tiene un gran potencial para reducir la emisión de óxidos de azufre y nitrógeno así como de partículas PM 10 y PM 2.5.

Las fuentes móviles tuvieron emisiones de 15 133 toneladas, de las cuales el CO constituye el 82%, seguido de una aportación de 1 784 toneladas de NOx y 813 de COV. Aunque se realizó un ejercicio de estimación de las emisiones de estas fuentes empleando factores de emisión, los valores que se han incorporado en este inventario por considerarlos de mejor calidad son los encontrados por el INECC mediante el simulador MOVES al realizar inventarios de emisiones para fuentes móviles para cada municipio del país, incluyendo La Paz.

Las fuentes de área están integradas por numerosos emisores dispersos en la zona de estudio agrupados en categorías muy diversas. Aunque las fuentes de área aportan al inventario emisiones de todos los contaminantes de interés para este trabajo, su principal emisión fue de COV con 4 170 toneladas. Estas emisiones provienen principalmente del uso de solventes así como del almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo.

Las fuentes naturales consideraron las emisiones biogénicas de COV tanto por los principales cultivos agrícolas en la zona como por la vegetación de la región. Estas fuentes contribuyen con la mayor aportación de COV al inventario con 4 455 toneladas, las cuales tienen su origen principalmente en la amplia extensión de suelo de cubierta vegetal nativa que fue incluida en la zona de estudio.

Finalmente debe resaltarse la importancia de los controles de emisiones. El ejemplo de mayor importancia es el de la CT Punta Prieta ya que de no contar con el sistema de control de emisiones que actualmente opera en esta central, las emisiones de óxidos de azufre serían de magnitud similar a las de la CCI Baja California Sur y su emisión de partículas de incrementaría notablemente también (más de un orden de magnitud). El instalar un sistema de control de emisiones en

la CCI Baja California Sur similar al de la CT Punta Prieta podría reducir en tres cuartas partes la emisión de óxidos de azufre y en 90% o más la emisión de material particulado (asumiendo eficiencias de remoción similares a las reportadas para el SCEA de la CT Punta Prieta). Adicionalmente, si el uso del sistema de reducción catalítica selectiva de óxidos de nitrógeno que actualmente opera en la cuarta unidad generadora de la CCI Baja California Sur (no incluida en este inventario) se hiciera extensivo a las tres unidades que le precedieron, las emisiones de óxidos de nitrógeno se podrían reducir considerablemente. Estos ejemplos hacen evidente que existen posibilidades reales ya en operación localmente para la reducción de emisiones contaminantes. Ello reduciría ampliamente los volúmenes de emisiones de la principal fuente individual de contaminantes en La Paz con los correspondientes beneficios para los habitantes y visitantes de la zona así como para los ecosistemas locales y las actividades que en ellos se llevan a cabo.

## Referencias bibliográficas

Álvarez Arellano, D & Murillo Jiménez, JM 1989, "Cuerpos de agua inferidos a partir del registro micropaleontológico (radiolaria), en sedimentos superficiales del fondo marino de la Bahía de La Paz, B.C.S., México", en *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UABCS.

Carrillo Guerrero, Y 2010, *Diagnóstico de la Cuenca de La Paz*, Pronatura Noroeste, recuperado 29 noviembre 2015, <[http://www.pronatura-noroeste.org/archivos/file/Reporte\\_Final\\_Dialogos\\_del\\_Agua\\_PRONATURA.pdf](http://www.pronatura-noroeste.org/archivos/file/Reporte_Final_Dialogos_del_Agua_PRONATURA.pdf)>.

CEC 2004, *Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CEC), recuperado 5 octubre 2014, <<http://www3.cec.org/islandora/en/item/2165-north-american-power-plant-air-emissions-es.pdf>>.

— 2011, *Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte*, recuperado 16 enero 2014, <[http://www.cec.org/temp/power\\_plants\\_spanish\\_web.pdf](http://www.cec.org/temp/power_plants_spanish_web.pdf)>.

CFE 2007, *Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera para la instalación de las CCI BCS III y IV, Sitio San Francisco, La Paz, BCS*.

— 2008, *Manifestación de impacto ambiental modalidad particular para la 235 CCI Baja California Sur IV*.

— 2011, *Sistema de control de emisiones a la atmósfera de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos*.

— 2012a, *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026*, CFE, recuperado 22 abril 2013, <[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/Paginas/Publicaciones.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Paginas/Publicaciones.aspx)>.

— 2012b, *Sistema de Reducción de Emisiones a la Atmósfera de la CT José Aceves Pozos (Mazatlán)*, recuperado 1 febrero 2016, <[http://3A%2F%2F159.16.244.43%3A90%2FLB%2520Reduccion%25C3%25B3n%2520de%2520emisiones%2FSISTEMA%2520REDUCCION%2520EMISIONES%2520A%2520LA%2520ATMOSFERA%2520CT%2520JOSE%2520ACEVES%2520POZOS%2520MAZATLAN\\_Parte4.pdf](http://3A%2F%2F159.16.244.43%3A90%2FLB%2520Reduccion%25C3%25B3n%2520de%2520emisiones%2FSISTEMA%2520REDUCCION%2520EMISIONES%2520A%2520LA%2520ATMOSFERA%2520CT%2520JOSE%2520ACEVES%2520POZOS%2520MAZATLAN_Parte4.pdf)>.

— 2014a, *CCI Baja California Sur I - Cédula de Operación Anual 2013*.

— 2014b, *CT Punta Prieta - Cédula de Operación Anual 2013*.

Chester, M & Horvath, A 2008, *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas, and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air*, UC Berkeley Center for Future Urban Transport, recuperado 27 abril 2016, <[www.its.berkeley.edu/sites/default/files/publications/UCB/2008/VWP/UCB-ITS-VWP-2008-2.pdf](http://www.its.berkeley.edu/sites/default/files/publications/UCB/2008/VWP/UCB-ITS-VWP-2008-2.pdf)>.

CONANP 2003, *Programa de manejo Reserva de la Biósfera Sierra La Laguna*, recuperado 29 noviembre 2015, <[http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/sierra\\_la\\_laguna.pdf](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/sierra_la_laguna.pdf)>.

— 2016, *Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo*, recuperado 21 octubre 2016, <<http://espiritusanto.conanp.gob.mx/>>.

CONAPO 2015a, *Baja California Sur: Proyecciones de población de localidades seleccionadas, 2010-2030*, CONAPO, recuperado 20 febrero 2015, <[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)>.

— 2015b, *Proyección de la población de los municipios a mitad de año por sexo y grupos de edad, 2010-2030 - Baja California Sur*, CONAPO, recuperado 16 febrero 2015, <[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)>.

EPA 2000a, *AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources, Emission factor documentation for AP-42 Section 3.1 Stationary Gas Turbines - Background information*, recuperado 27 enero 2016, <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>>.

— 2000b, *AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources, Section 3.1 Stationary Gas Turbines*, recuperado 27 enero 2016, <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>>.

Geron, CD, Guenther, AB & Pierce, TE 1994, "An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States", *Journal of Geophysical Research*, vol. 99791, n° 20, pp. 773–12.

Idom 2014, *Plan de Movilidad Urbana Sustentable de La Paz*, recuperado 19 febrero 2015, <<http://www.comovamoslapaz.com/#!/biblioteca/cbfa>>.

INAFED 2015, *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: La Paz*, INAFED, recuperado 29 noviembre 2015, <<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM03bajacaliforniasur/municipios/03003a.html>>.

INECC 2014a, *Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*, recuperado 26 abril 2016, <[http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2014\\_inf\\_fin\\_moves.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2014_inf_fin_moves.pdf)>.

— 2014b, *Estudio de monitoreo de la calidad del aire en La Paz, B.C.S., del 1 al 30 de junio de 2014*, Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INECC.

INEGI 2007, *Mapa de precipitación promedio anual*, INEGI, recuperado 29 noviembre 2015, <<http://web.archive.org/web/20070714231418/http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/bcs/precipit.cfm>>.

— 2010, *Compendio de información geográfica municipal 2010 - La Paz*, recuperado 15 mayo 2016, <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>>.

— 2014a, *Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur 2014*, INEGI, recuperado 26 abril 2015, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825065331>>.

— 2014b, *Guía para la interpretación de cartografía - Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie V.*, recuperado 24 noviembre 2015, <[www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/ususuelo/doc/guia\\_interususuelov.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/ususuelo/doc/guia_interususuelov.pdf)>.

— 2015a, *Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015 - Baja California Sur*, recuperado 19 mayo 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725&s=est>>.

— 2015b, *Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015 - Estimadores de la población total en viviendas particulares habitadas por municipio y grupos quinquenales de edad según sexo*, INEGI, recuperado 18 octubre 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725>>.

— 2015c, *Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015 - Estimadores de la población total y su distribución porcentual según condición de registro de nacimiento*, INEGI, recuperado 18 octubre 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725&s=est>>.

— 2016a, *México en cifras*, recuperado 19 mayo 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>>.

— 2016b, *Motocicletas registradas en circulación*, recuperado 18 mayo 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biinegi/>>.

— 2016c, *Vehículos de motor registrados en circulación (excluye motocicletas)*, recuperado 18 mayo 2016, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biinegi/>>.

INEGI, 2010 2015, *Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018 Acciones con vision al 2021 XV AYUNTAMIENTO DE LA PAZ*.

Ivanova, A & Gámez, AE (eds.) 2012, *Plan estatal de acción ante el cambio climático para Baja California Sur*.

Ivanova Boncheva, A, Bermúdez Contreras, A, de la Peña, A, de la Toba, D, Encarnación, E, Geiger, A, Gómez, I, Graciano, JC, Juárez, E, Kachok, R, López, C, Martínez, M, Martínez, V, Moreno, G, Petatán, D, Polanco, G, Ramírez, E, Rangel, E, Reyes, H, Rivera, J & Wurl, J 2013, *Plan de Acción ante el Cambio Climático para La Paz y sus Áreas Colindantes*.

Landa Fonseca, H 2005, *Inventario Nacional de Emisiones*.

López López, SG 2013, "Caracterización física y evaluación del impacto antropogénico en los principales humedales de manglar en la Bahía de La Paz, Baja California Sur", UABCS.

Moreno Gómez, G 2012, "Análisis del impacto del crecimiento de la mancha urbana en el ambiente biofísico del área conurbada de la ciudad de La Paz, B.C.S., México", Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Parra, R, Gassó, S & Baldasano, JM 2004, "Estimating the biogenic emissions of non-methane volatile organic compounds from the North Western Mediterranean vegetation of Catalonia, Spain", *Science of the Total Environment*, vol. 329, n° 1-3, pp. 241–259.

PEMEX 2007, *Gas licuado de petróleo - Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas*, PEMEX Gas y Petroquímica Básica, recuperado 26 abril 2015, <[http://ssfe.itorizaba.edu.mx/ntec13/webext/secure/hoja/PEMEX\\_COMPLETO/MSDS\\_GAS\\_LP\\_PEMEX.pdf](http://ssfe.itorizaba.edu.mx/ntec13/webext/secure/hoja/PEMEX_COMPLETO/MSDS_GAS_LP_PEMEX.pdf)>.

— 2011a, *PEMEX combustóleo pesado - Hoja de datos de seguridad*, recuperado 1 febrero 2016, <[http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-405\\_Combustoleo\\_Pesado.pdf](http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-405_Combustoleo_Pesado.pdf)>.

— 2011b, *PEMEX diésel - Hoja de datos de seguridad*, recuperado 6 junio 2016, <[http://www.pemex.com/comercializacion/productos/hds/refinados/hdss-301\\_pemex\\_diesel.pdf](http://www.pemex.com/comercializacion/productos/hds/refinados/hdss-301_pemex_diesel.pdf)>.

— 2015, *Volumen de ventas internas en la Terminal de Reparto y Almacenamiento de La Paz B.C.S. 2010-2014 - Solicitud de información INFOMEX folio 1857600014615*.

Pierce, TE & Waldruff, PS 1991, "PC-BEIS: A personal computer versión of the biogenic emissions inventory system", *Journal of the air&waste management association*, vol. 41, n° 7, pp. 937–941.

Pope, CA & Dockery, DW 2006, "Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect", *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 56, pp. 707–708, recuperado 27 febrero 2015, <<http://www.environmental-expert.com/Files\6477\articles\6906\1152006criticalreview.pdf>>.

Radian International 1997, "Volumen V – Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes de Área", en *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México*, La Asociación de Gobernadores del Oeste y El Comité Asesor Binacional.

RLEEGEPAMPPCA 2014, "Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera, con reformas del 31-10-2014", *Diario Oficial de la Federación 31-10-2014*, 31 octubre.

SAGARPA 2015, *Producción, precio, valor y peso de ganado en pie y carne en canal 2013*, SIAP-SAGARPA, recuperado 21 junio 2016, <<http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-municipal-pecuario/>>.

Samet, JM, Dominici, F, Zeger, SL, Schwartz, J & Dockery, DW 2000, "The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part I: Methods and methodologic issues.", *Research report (Health Effects Institute)*, n° 94, pp. 5–14; discussion 75–84.

SDEMARN 2016, *Datos básicos de Baja California Sur*, SDEMARN, Gobierno del Estado de Baja California Sur, recuperado 18 octubre 2016, <<http://sdemarn.bcs.gob.mx/compendios-basicos/>>.

SEDESOL, Gobierno del Estado de Baja California Sur & XII Ayuntamiento de La Paz 2005-2008 2007, *Plano E1 - Centro de Población. Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población La Paz, Estado de Baja California Sur*.

SEMARNAT 2015, "Instructivo y formato de la cédula de operación anual", en *Diario Oficial de la Federación 14 agosto 2015*.

SEMARNAT & INE 2009, *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*, recuperado 14 marzo 2015, <[http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=618](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=618)>.

SEMARNAT, INE & WGA 2005, *Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones*, recuperado 14 marzo 2015, <[http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=457](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=457)>.

SEMARNAT & INECC 2013, *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas*, recuperado 14 marzo 2015, <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/696.pdf>>.

SENER 2014, *Balance Nacional de Energía 2013*, Secretaría de Energía, recuperado 10 marzo 2015, <[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/Balance\\_2013.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Balance_2013.pdf)>.

SENER & IEA 2011, *Indicadores de eficiencia energética en México: 5 sectores, 5 retos*.

SIE-SENER 2015a, *Ventas de gas L.P. en plantas de distribución al sector carburación por entidad federativa*, Secretaría de Energía, recuperado 26 abril 2015, <<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=VGLPCN>>.

— 2015b, *Ventas totales de gas L.P. en plantas de distribución por entidad federativa*, Secretaría de Energía, recuperado 26 abril 2015, <<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=VGLPPTN>>.

— 2016, *Volumen de ventas internas de Petrolíferos por entidad federativa*, recuperado 19 mayo 2016, <<http://sie.energia.gob.mx/>>.

SPYDE 2014a, *Datos básicos de Baja California Sur 2014*, Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Baja California Sur, recuperado 13 marzo 2015, <[http://spyde.bcs.gob.mx/die\\_cei\\_pub\\_compendio.php](http://spyde.bcs.gob.mx/die_cei_pub_compendio.php)>.

— 2014b, *La Paz - Información Estratégica*, Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Baja California Sur (SPYDE), recuperado 29 noviembre 2015, <[http://www.spyde.bcs.gob.mx/files/die/2014/003 ESTRATEGICO\\_LA\\_PAZ\\_2014\\_digital.pdf](http://www.spyde.bcs.gob.mx/files/die/2014/003 ESTRATEGICO_LA_PAZ_2014_digital.pdf)>.

— 2015, *Información estratégica: Baja California Sur*, Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Baja California Sur (SPYDE).

Velasco, E 2003, “Estimates for biogenic non-methane hydrocarbons and nitric oxide emissions in the Valley of Mexico”, *Atmospheric Environment*, vol. 37, nº 5, pp. 625–637.

Velasco, E & Bernabé, R 2004, *Emisiones biogénicas*, Instituto Nacional de Ecología INE-SEMARNAT, vol. 1era Ed.

Velasco García, JA 2009, “Ambientes geológicos costeros del litoral de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México”, CICIMAR - Instituto Politécnico Nacional.

Anexo

*Fuentes de área*

**Tabla 37 Factores GOR/GOT para fuentes móviles que no circulan por carretera.**

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	GOR/GOT	
Fuentes móviles que no circulan por carretera	Embarcaciones marítimas comerciales LA PAZ		
	RUTAS		
		Trasbordadores costeros	97.20%
		Buques	97.20%
		Cruceros ecoturísticos	97.20%
	Embarcaciones marítimas comerciales PICHILINGUE		
		Trasbordadores costeros	97.20%
		Buques	97.20%
		Cruceros	97.20%
		Embarcaciones menores	97.20%
	Embarcaciones marítimas comerciales LA PAZ		
	PUERTO		
		Trasbordadores costeros	97.20%
		Buques	97.20%
		Cruceros ecoturísticos	97.20%
	Embarcaciones marítimas comerciales PICHILINGUE		
		Trasbordadores costeros	97.20%
		Buques	97.20%
		Cruceros	97.20%
		Embarcaciones menores	97.20%
Aeronaves			
	Aeromexico	84.40%	
	Volaris	84.40%	

**Tabla 38 Factores GOR/GOT para uso de solventes.**

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	GOR/GOT	
Uso de solventes	Lavado en seco	58.0%	
	Pintura para señalización vial	98.8%	
	Recubrimiento de superficies industriales	98.8%	
	Pintado de carrocerías	98.8%	
	Artes gráficas	100.0%	
	Uso doméstico y comercial de solventes		
		Productos en aerosol	69.0%
		Productos domesticos	69.0%
		Productos de cuidado personal	69.0%
		Productos de cuidado automotriz	69.0%
		Adhesivos y selladores	69.0%
		Pesticidas comerciales y domesticos	69.0%
		Productos miscelaneos	69.0%
		Limpieza de superficies industriales	60.0%
	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	87.1%	

**Tabla 39 Factores GOR/GOT para almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo.**

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	GOR/GOT	
Almacenamiento, transporte y distribución de derivados del petróleo	Manejo y distribución de gas licuado de petróleo	98.4%	
	Manejo y distribución de gasolina y diésel	Descarga de pipas magna	100.0%
		Descarga de pipas Premium	100.0%
		Descarga de pipas diésel	85.0%
		Perdida de respiración de tanques subterráneos Magna	100.0%
		Perdida de respiración de tanques subterráneos Premium	100.0%
		Perdida de respiración de tanques subterráneos diésel	85.0%
		Pérdida de respiración de pipas en tránsito Magna	100.0%
		Pérdida de respiración de pipas en tránsito Premium	100.0%
		Pérdida de respiración de pipas en tránsito diésel	85.0%
		Pérdida por carga de combustible y derrames Magna	100.0%
		Pérdida por carga de combustible y derrames Premium	100.0%
		Pérdida por carga de combustible y derrames diésel	85.0%
		Emisiones por carga de combustible de aeronaves	100.0%

**Tabla 40 Factores GOR/GOT para fuentes industriales ligeras y comerciales.**

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA		GOR/GOT
Fuentes industriales ligeras y comerciales	Asado al carbón	Asado de Pollo	100.0%
		Asado de Carne	100.0%
		Asado de Mariscos	100.0%
	Ladrilleras		41.5%
	Panificadoras		100.0%

## *Fuentes biogénicas*

Definiciones (INEGI 2014b):

- Agricultura: áreas de producción de cultivos obtenidos para su utilización por el ser humano ya sea como alimentos, forrajes, ornamental o industrial.
- Acuícola: se refiere al manejo de especies dulceacuícolas o marinas con fines de obtención de producción de carne o de crías.
- Selva (selva baja caducifolia): se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. Los componentes arbóreos de esta selva presentan baja altura, normalmente de 4 a 10 m. Las formas de vida crasas y suculentas son frecuentes. En este tipo de selva son comunes: *Bursera* sp.; *Lysiloma* sp.; *Jacaratia mexicana*; *Ceiba*; *Bromelia pinguin*; *Agave*; *Opuntia*; *Stenocereus*; *Cephalocereus*, etc.
- Bosque (bosque de encino pino y bosque de encino): El bosque de encino-pino: comunidades vegetales características de las zonas montañosas de México. Están conformadas por diferentes especies de pino y encino; pero con dominancia de las segundas. Bosque de encino: formadas por diferentes especies de encinos o robles del género *Quercus*.
- Matorral 1. Matorral subtropical: comunidad vegetal formada por arbustos o árboles bajos, inermes o espinosos que se desarrolla en una amplia zona de transición ecológica entre la Selva Baja Caducifolia, los matorrales de zonas áridas y semiáridas y pastizales. Los principales componentes son *Bursera* sp., *Erythrina* sp., etc. 2. Matorral sarcocaulé: caracterizado por la dominancia de arbustos de tallos carnosos, gruesos frecuentemente

retorcidos y algunos con corteza papirácea, algunas especies que la conforman son *Pachycereus pringlei*, *Lophocereus schottii*, *Stenocerus gummosus* y *Opuntia cholla*, *Bursera* spp., *Jatropha* spp., *Cercidium* sp., *Prosopis* sp., entre otras. 3. Matorral sarco-crasicaule: comunidad en la que se encuentran asociadas especies comunes del matorral crasicaule y del matorral sarcocaulé

- Mezquital tropical: se desarrolla en condiciones de trópico seco, donde sus elementos, por lo general son árboles medianos de mezquite (*Prosopis* spp.)
- Pastizal natural: comunidad dominada por especies de gramíneas y graminoides, en ocasiones acompañadas por hierbas y arbustos de diferentes familias
- Vegetación de galerías: comunidades arbustivas ocasionalmente con elementos subarbóreos, que se desarrollan en los márgenes de ríos y arroyos. Dentro de los géneros encontrados están *Baccharis*, *Chilopsis*, *Senecio*, *Acacia*, *Mimosa*, *Salix* y *Prosopis* sp.
- Manglar: es una comunidad densa dominada principalmente por un grupo de especies conocidas como mangles. Las especies que predominan en México son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*.
- Vegetación de dunas costeras: se establece a lo largo de las costas y se caracteriza por plantas pequeñas y suculentas.

