CERCA
energía y aire limpios

Diagnóstico de Energía y Calidad del Aire en La Paz 2021

CERCA es una organización de la sociedad civil que surgió a partir de un grupo ciudadano diverso, incluyente, apartidista y empoderado por su propia membresía. Nuestra organización se conforma por los programas de Energía, Salud, Calidad del Aire, Comunidad y las áreas de Legal Gestión y Comunicación. Cada una de las áreas y programas desarrollan actividades e investigaciones que se complementan para lograr los objetivos de la organización.

Energía

La meta del programa de Energía es definir e impulsar los pasos para la transición energética de forma sustentable y promover la aplicación de medidas de eficiencia energética en el estado de Baja California Sur.

Calidad del Aire

La meta del programa de Calidad del Aire es identificar, investigar e impulsar medidas para mejorar la calidad del aire en el estado de Baja California Sur, mediante información y análisis técnico, fortaleciendo capacidades locales.

Estrategia de defensa de calidad del aire para la ciudad de La Paz

Resumen Ejecutivo

La contaminación del aire en la ciudad de La Paz representa una problemática que ha aumentado considerablemente en los últimos años, derivado principalmente del desarrollo económico aunado al crecimiento poblacional. Este crecimiento se ha reflejado en un ascenso continuo de la demanda eléctrica hasta el año 2018, en un sistema aislado como lo es el Sistema Baja California Sur, la generación de electricidad contribuye considerablemente a la liberación de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno en el estado, principalmente en los municipios de La Paz y Comondú. En el presente reporte, se enfatiza en las emisiones que liberan las centrales eléctricas de La Paz (Central de Combustión Interna B.C.S. y Central Punta Prieta) y en el estado de la calidad del aire documentado con datos del monitoreo móvil de la empresa global Aclima, la Red de Monitoreo estacionaria de CERCA y las casetas de monitoreo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

A su vez, a través de los datos de monitoreo hiperlocal en la ciudad se ha localizado a la población expuesta a altos niveles de contaminación. La información recopilada sustenta la necesidad de profundizar en la investigación sobre los efectos en la salud, debido a la presencia de contaminantes del aire de manera reiterada. Asimismo, a través del señalamiento de las omisiones del estado y el incumplimiento de normativas se busca fomentar la exigencia ciudadana para impulsar políticas públicas que incluyan estrategias para la transición a energías renovables y acciones de eficiencia energética que, en conjunto, podrán promover una mejor calidad del aire y proteger la salud de los habitantes de la ciudad de La Paz.

Tabla de contenido

1 Descripción de la Zona 1

1.1 Datos generales 1

1.2 Población 2

1.2.1 Proyección demográfica del municipio de La Paz 3

1.3 Mapeo de actores B.C.S. 4

2 Capítulo Energía 7

2.1 Introducción 7

2.2 Definición de las energías renovables 9

2.3 Generación eléctrica y emisiones en la Paz 12

2.3.1 "Apagones durante 2019" 14

2.3.2 Influencia de los apagones en los Precios Marginales Locales en B.C.S. 16

2.3.3 Capacidad energética en La Paz 18

2.3.4 Contaminación atmosférica por generación eléctrica 19

2.3.5 Comparativo nacional de emisiones 25

2.3.5.1 Emisiones de contaminantes criterio 25

2.3.5.2 Emisiones de GEI 27

2.3.5.3 Sistemas de control de emisiones 29

2.3.6 Crecimiento del sector energético 35

2.3.6.1 Proyectos en generación fósil y limitantes a energías renovables 35

2.3.6.2 Proyectos de ampliación en la Red de transmisión de B.C.S. 37

2.3.7 Flujos de potencia 40

2.4 Discusión 42

2.5 Conclusiones 43

3 Capítulo de Calidad del Aire 46

3.1 Introducción 46

3.2 Redes de monitoreo ciudadano 47

3.2.1 Monitoreo fijo 47

3.2.1.1 Resultados 48

3.2.2 Monitoreo móvil 51

3.3 Análisis técnico del monitoreo de casetas de CFE en La Paz, B.C.S. 54

3.3.1 Información general 54

3.3.2 Evaluación de límites permisibles 55

3.3.2.1 Estación 1 56

3.3.2.2 Estación 2 59

3.3.2.3 Estación 3 62

3.3.2.4 Medias anuales de PM10 65

3.3.3 Evaluación de ausencia de información 66

3.3.3.1 Estación 1 66

3.3.3.2 Estación 2 67

3.3.3.3 Estación 3 68

3.3.4 Series de tiempo anuales 69
3.3.5 Series de tiempo mensuales 73
3.3.6 Análisis de tendencia 77
3.3.7 Estudios oficiales 81
3.3.8 Discusión 83
3.3.9 Conclusión 84

4 Anexos 86

5 Referencias 102

Tabla de figuras

Figura 1 Estado de B.C.S. y sus municipios 1
Figura 2 Población en B.C.S. por municipio 2
Figura 3 Proyección de distribución demográfica en La Paz a 2020 3
Figura 4 Diagrama de actores y nivel de importancia para la toma de decisiones 4
Figura 5 Vulnerabilidad ambiental en B.C.S. 7
Figura 6 Tipos de energías renovables 9
Figura 7 Generación de energía eléctrica renovable en México 10
Figura 8 Generación potencial de energía renovable 11
Figura 9 Generación de energía eléctrica por central en B.C.S. año 2019 13
Figura 10 Generación de energía eléctrica por central en el SBS. 2019 14
Figura 11 Evolución de la generación anual de energía eléctrica en B.C.S. (2014-2019) 15
Figura 12 Comportamiento mensual de la demanda eléctrica del SBS. (2018-2020) 16
Figura 13 Precios en nodos distribuidos agosto por zona de carga (2018-2020) 17
Figura 14 PML, precio promedio mensual del MDA 18
Figura 15 Ventas de energía eléctrica por tipo de sector en B.C.S. año 2020 19
Figura 16 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en B.C.S. 2016 20
Figura 17 Emisiones por contaminantes criterio por municipio en B.C.S. año 2016 20
Figura 18 Emisiones por contaminantes criterio totales en el municipio de La paz por tipo de fuente 20
Figura 19 Diagrama de sankey de las emisiones en el estado de B.C.S. en 2016 21
Figura 20 Evolución de contaminantes criterio por fuentes fijas en La Paz, B.C.S. 22
Figura 21 Emisiones de contaminantes criterio por las centrales eléctricas en la Cd. de La Paz 2019 23
Figura 22 Presencia de circunferencias brillantes en muestras de agua de mar en San Buto, Comondú 24
Figura 23 Emisiones de contaminantes criterio por tipo de fuente en México 2016 25
Figura 24 Emisiones criterio estatales per cápita estales en 2016 26
Figura 25 Emisiones criterio municipales per cápita en B.C.S. en el 2016 27
Figura 26 Principales centrales eléctricas en 2017 CFE y PIE 28
Figura 27 Diagrama del sistema SCR considerado para la 236 CCI Baja California Sur 29
Figura 28 Arreglo del sistema SCR para máquinas de 4 tiempos (después del turbocargador) 30
Figura 29 Arreglo de sistema SCR para máquinas de dos tiempos (antes del turbocargador) 31
Figura 30 Funcionamiento principal de precipitador electrostático 32
Figura 31 Sistema típico de lavadores de caliza de vía húmeda 33
Figura 32 Sistemas más actualizados de lavadores de caliza en vía húmeda 34
Figura 33 Planes de CFE para B.C.S. (2020-2022) 35
Figura 34. Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. a 2023 36
Figura 35 Evolución histórica de la potencia instalada en el sistema eléctrico B.C.S. 37
Figura 36 Escenario demanda máxima de verano, ocurrida el 12 de agosto del 2020 16:49 Horas 40
Figura 37 Escenario demanda mínima de invierno, ocurrida el 2 de enero del 2020 03:29 Horas 41
Figura 38 Ubicación de puntos de monitoreo 47
Figura 39 Días contaminados en La Paz, B.C.S. 48
Figura 40 Calendario CERCA días con contaminación en La Paz, B.C.S. 2019-2020 49
Figura 41 Trayectoria de contaminantes emitidos por las centrales eléctricas sobre la ciudad de La Paz durante el 26 de julio de 2020 50
Figura 42 Días contaminados en Isla Espíritu Santo, Isla Cerralvo a febrero a diciembre de 2020 50
Figura 43 Colonias más contaminadas por Carbono negro y CO en la Cd. de La Paz 52
Figura 44 Colonias más contaminadas por NOx y Ozono en la Cd. de La Paz 52
Figura 45 Colonias más contaminadas por PM 2.5 en la Cd. de La Paz 53
Figura 46 Distribución estaciones de monitoreo CFE y distribución urbana 54

Figura 47 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 1 58
Figura 48 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 2 61
Figura 49 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 3 64
Figura 50 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE 69
Figura 51 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para dióxido de nitrógeno en las 3 estaciones 70
Figura 52 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para ozono en las 3 estaciones CFE 71
Figura 53 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para material particulado en las 3 estaciones CFE 72
Figura 54 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE 73
Figura 55 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para dióxido de nitrógeno en las estaciones CFE 74
Figura 56 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para Ozono en las 3 estaciones CFE 75
Figura 57 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para material particulado en las 3 estaciones CFE 76
Figura 58 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE 77
Figura 59 Comportamiento de promedios diarios por año, para Ozono (O3) en las 3 estaciones CFE 78
Figura 60 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de nitrógeno 79
Figura 61 Comportamiento de promedios diarios por año, para Partículas PM10 80

Tabla de tablas

Tabla 1 Proyección demográfica para La Paz (2021-2030) 3
Tabla 2. Compromisos de México en la contribución nacionalmente determinada (NDC) para el sector energético 8
Tabla 3 Metas de energías limpias e instrumentos de planeación 9
Tabla 4 Evolución histórica de la generación neta de energías renovables en GWh (2018- 2020) 11
Tabla 5 Evolución histórica de la generación neta de energías renovables en GWh (2018- 2020) 12
Tabla 6. Tiros de carga en el SBS. 15
Tabla 7 Número de usuarios afectados por los "apagones" durante 2019 16
Tabla 8. Volumen de ventas de energía eléctrica (MWh) en B.C.S. (2015-2017) 18
Tabla 9 Emisiones de CO2 por las centrales eléctricas en la Cd. de La Paz 2019 23
Tabla 10 Elementos anormales encontrados en análisis químico para las muestras de mar tomadas en San Buto 24
Tabla 11 Comparativa de emisiones de contaminantes criterio B.C.S. México 2016 26
Tabla 12 Comparativas emisiones de gases de efecto invernadero 27
Tabla 13 Potencia instalada por tecnología en La Paz (2019-2020) 36
Tabla 14 Proyectos de ampliación en las redes de transmisión en B.C.S. identificados en el PAMRNT (2020-2034) 38
Tabla 15 Incremento Compensación Capacitiva en la Zona Los Cabos 38
Tabla 16 Incremento en la capacidad de transformación en Zona Los Cabos 39
Tabla 17 Solución integral al suministro de energía eléctrica de la Zona Constitución 39
Tabla 18 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos (DOF) 55
Tabla 19 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 1 (DOF) 56
Tabla 20 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 1 (DOF) 57
Tabla 21 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 2 (DOF) 59
Tabla 22 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 2 (DOF) 60
Tabla 23 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 3 (DOF) 62
Tabla 24 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 3 (DOF) 63
Tabla 25 Promedios anuales en tres estaciones comparados con los límites permisibles (DOF) 65
Tabla 26 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 1 (DOF, 2012) 66
Tabla 27 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 2 (DOF,2012) 67
Tabla 28 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 3 (DOF,2012) 68
Tabla 29 Elaboración propia a través de: "Análisis de Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera de cuatro unidades móviles eléctricas a instalarse en la CCI B.C.S." 81
Tabla 30 Elaboración propia a través de: "Análisis de Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera de cuatro unidades móviles eléctricas a instalarse en la CCI B.C.S." 82

Tablas de Ilustraciones de Anexos

Ilustración 1 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en el municipio de La Paz 2016 86
Ilustración 2 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en el municipio de Los Cabos 2016 87
Ilustración 3 Potencia instalada por tecnología en La Paz 2019 88
Ilustración 4 Potencia instalada por tecnología en La Paz 2020 89
Ilustración 5 Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. 2019 89
Ilustración 6 Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. 2020 90
Ilustración 7 Ventas de energía por sector en el municipio de La Paz 2017 90
Ilustración 8 Ventas de energía por sector en el municipio de Los Cabos 2017 91
Ilustración 9 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015 92

Tabla de Tablas de Anexos

Tabla A 1 Emisiones eléctricas emitidas por la Central Termoeléctrica y Central de Combustión Interna en La Paz 88
Tabla A 2 Potencia instalada en MW por central en el estado de Baja California Sur marzo 2020 93
Tabla A 3 Potencia instalada por central en el estado de Baja California Sur 2014-2019 94
Tabla A 4 Generación de energía eléctrica en el estado de Baja California Sur por tipo de tecnología en el año 2019 95
Tabla A 5 No. Usuarios del servicio de energía eléctrica por tipo de servicio en B.C.S (2015-2017) 95
Tabla A 6 Volumen de ventas de energía eléctrica por tipo de servicio en B.C.SUR en MWh (2015-2017) 96
Tabla A 7 Volumen de ventas de energía eléctrica por municipio en B.C.S. en MWh (2015-2017) 97
Tabla A 8 Potencia instalada por central en el sistema B.C.S. (MW) reportada por CENACE para el año 2019 98
Tabla A 9 Potencia instalada por tipo de tecnología en el sistema eléctrico B.C.S. 2019 98
Tabla A 10 Generación de energía por tipo de tecnología en el sistema eléctrico B.C.S. 2019 99
Tabla A 11 Potencia instalada y generación de energía eléctrica por central en el municipio de la paz año 2019 100
Tabla A 12 Toneladas de emisiones de contaminantes criterio* por central por año en el municipio de La Paz 100
Tabla A 13 Usuarios del servicio de energía eléctrica en La Paz (2015-2017) 101
Tabla A 14 Volumen de ventas de energía eléctrica por servicio en el municipio de La Paz en MWh (2015-2017) 101

B.C.S.

1 Descripción de la Zona

1.1 Datos generales

Baja California Sur forma parte de los 31 estados que junto al Distrito Federal conforman las 32 entidades federativas del país mexicano.

El estado se encuentra ubicado al Noroeste del país, colindando con el Estado de Baja California y compartiendo la mitad del territorio de la península de Baja California. Sus coordenadas geográficas son al norte 28°00′ , al sur 22°52′ de latitud norte; al este 109°25′ , al oeste 115°05′ de longitud oeste. Su extensión territorial es de 73,408 km2 que representa el 3.78% del territorio nacional. Sus litorales tienen 2131 km de costas (19.2% del litoral nacional) entre las que destacan las bahías de Sebastián Asunción, Vizcaíno, Magdalena, Ballenas, La Paz, Concepción y San Carlos (Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico, 2015).

Como se muestra en la Figura 1 B.C.S. se conforma de cinco municipios, Mulegé, Loreto, Comondú, La Paz y Los Cabos. Donde la ciudad de La Paz es la capital del estado.

Figura 1 Estado de B.C.S. y sus municipios

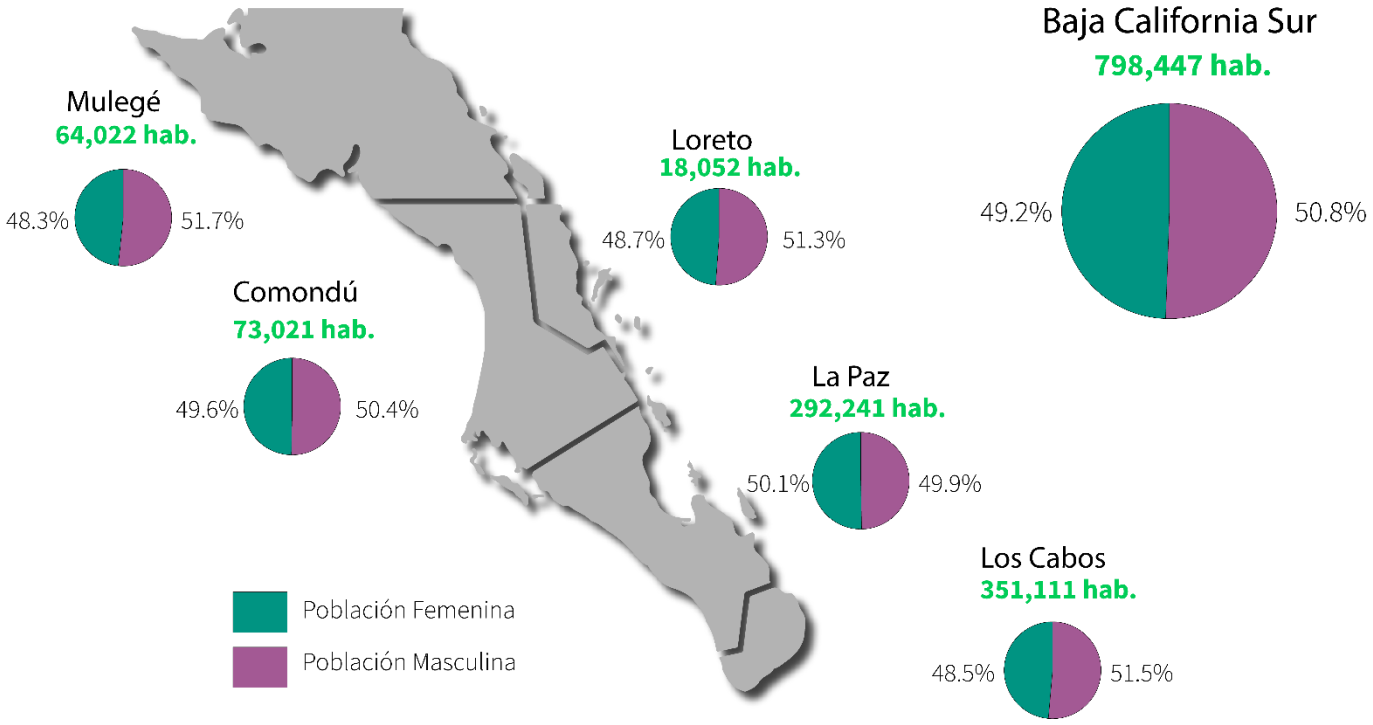
Fuente: Elaboración propia

1.2 Población

De acuerdo al último censo de INEGI, la población estatal al 15 de marzo de 2020 es de 798,477 habitantes, de los cuales 392,568 (49.2%) corresponde a la población femenina y 405,879 (50.8%) a masculina (INEGI, 2020). Es el estado con la menor densidad poblacional correspondiente a 10.8 hab/km^{2,} mientras que el país tiene una densidad poblacional promedio de 64.3 hab/km^2.

El municipio mayor poblado es el municipio de Los Cabos con 351,111 habitantes, representando el 44% de la población estatal, en segundo lugar, se encuentra el municipio de La Paz con 292,241 (37%) habitantes, siguiendo Comondú con 73,021 (9%) habitantes, Mulegé con 64,022 (8%) habitantes y, por último, Loreto con 18,502 (2%) habitantes. La Figura 2 muestra la cantidad de habitantes por municipio, así como su distribución porcentual entre la población masculina y femenina. Se puede observar que hay una distribución casi equitativa entre estos dos grupos por cada municipio.

Figura 2 Población en B.C.S. por municipio



Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020).

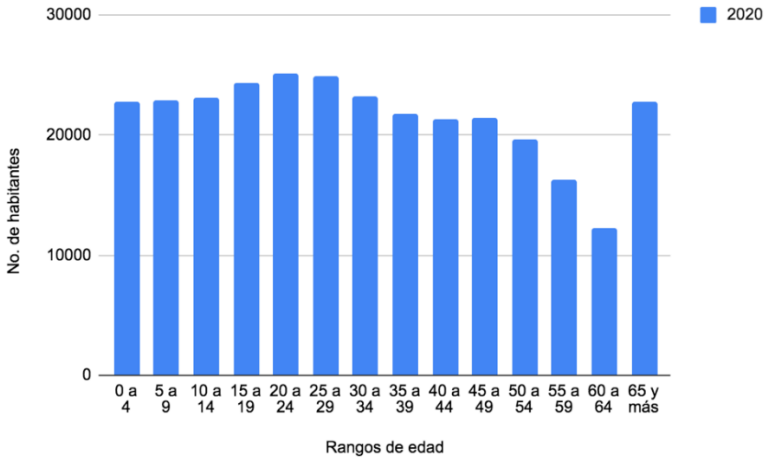
1.2.1 Proyección demográfica del municipio de La Paz

En este apartado se muestra la proyección de población que realizo la CONAPO para el municipio de La Paz. Esta tuvo un crecimiento del 21.05% en comparación al escenario poblacional de 2020 siendo la población de 20 a 24 años la más abundante en el sitio.

Tabla 1 Proyección demográfica para La Paz (2021-2030)

Año	Mujeres	Hombres	Población total
2021	154241	153089	307330
2022	157135	155724	312859
2023	160132	158449	318581
2024	163228	161280	324508
2025	166443	164221	330664
2026	169778	167275	337053
2027	173242	170462	343704
2028	176847	173803	350650
2029	180618	177303	357921
2030	184553	180981	365534

Figura 3 Proyección de distribución demográfica en La Paz a 2020

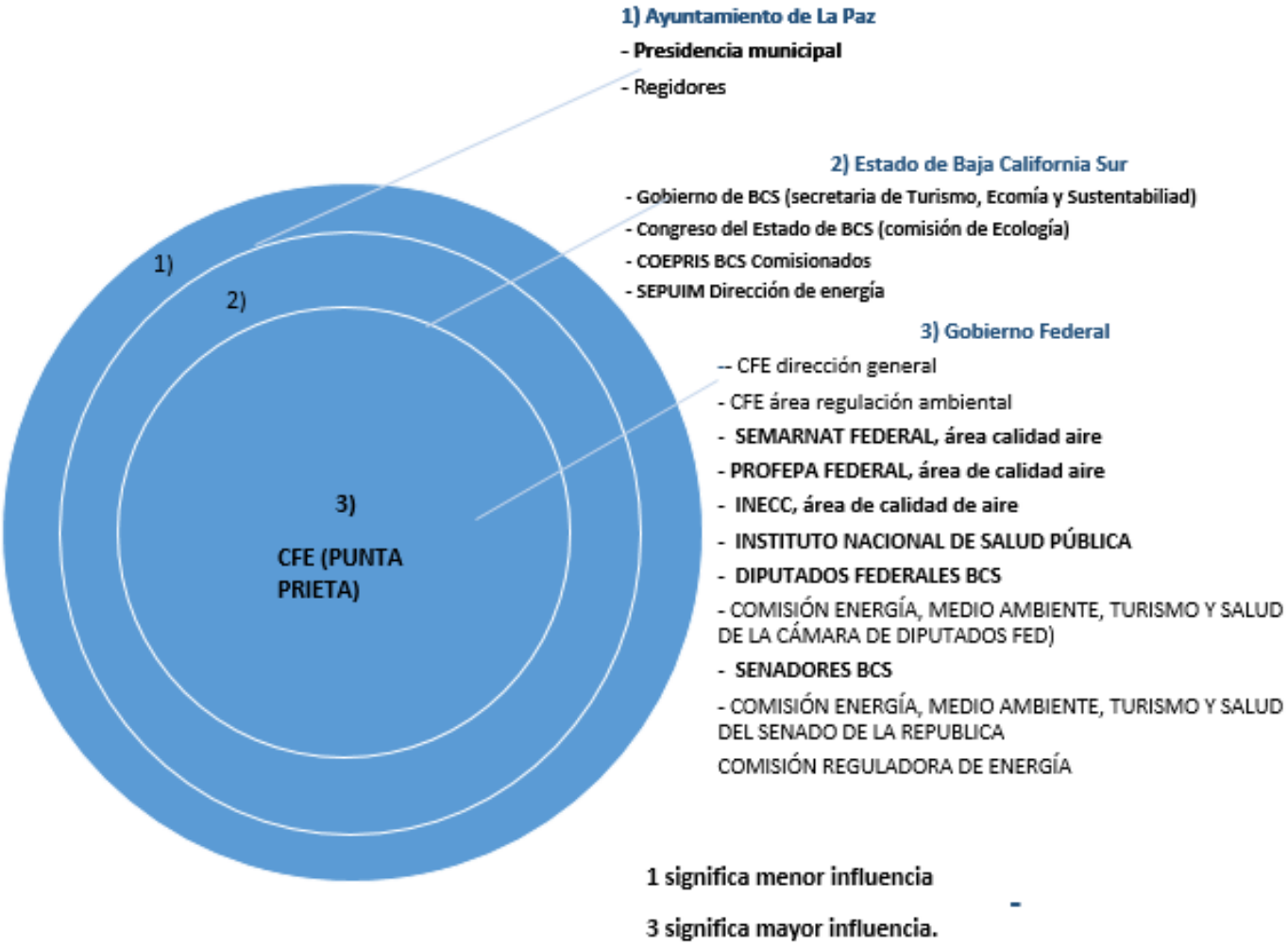


Fuente: CONAPO (2018). Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030 (base 1). Recuperado de: https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050

1.3 Mapeo de actores B.C.S.

En la figura siguiente se ilustran los actores relevantes sobre la calidad del aire en Baja California Sur:

Figura 4 Diagrama de actores y nivel de importancia para la toma de decisiones



Fuente: elaboración propia.

El orden de los números corresponde al nivel de influencia en la toma de decisiones, el 1 significa menor influencia y el 3 significa mayor influencia.

El objetivo de la figura es el de identificar a los actores clave en el tema de energía que pueden tomar decisiones sobre la actual matriz energética y las condiciones de la calidad del aire en La Paz

Energía

2 Capítulo Energía 7

2.1 Introducción 7

2.2 Definición de las energías renovables 9

2.3 Generación eléctrica y emisiones en la Paz 12

2.3.1 "Apagones durante 2019" 14

2.3.2 Influencia de los apagones en los Precios Marginales Locales en B.C.S. 16

2.3.3 Capacidad energética en La Paz 18

2.3.4 Contaminación atmosférica por generación eléctrica 19

2.3.5 Comparativo nacional de emisiones 25

2.3.5.1 Emisiones de contaminantes criterio 25

2.3.5.2 Emisiones de GEI 27

2.3.5.3 Sistemas de control de emisiones 29

2.3.6 Crecimiento del sector energético 35

2.3.6.1 Proyectos en generación fósil y limitantes a energías renovables 35

2.3.6.2 Proyectos de ampliación en la Red de transmisión de B.C.S. 37

2.3.7 Flujos de potencia 40

2.4 Discusión 42

2.5 Conclusiones 43

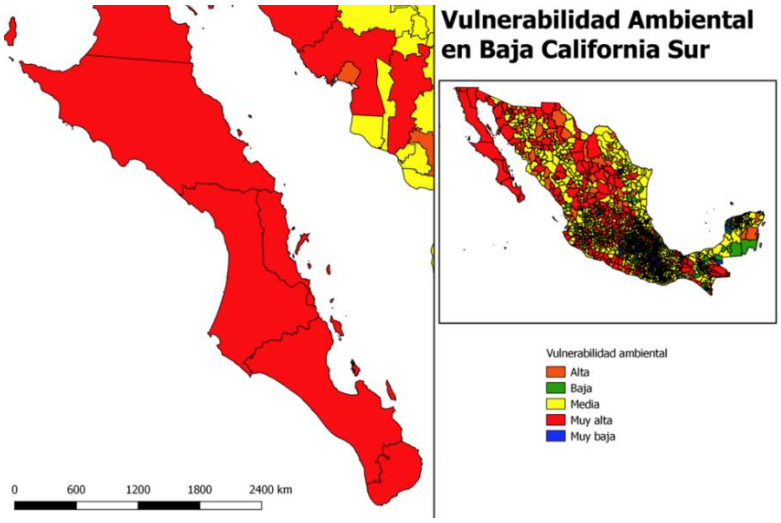
2 Capítulo Energía

2.1 Introducción

Las características geográficas y condiciones sociales adversas aumentan la vulnerabilidad ante el cambio climático (Figura 5), ejemplo de ello es la intensificación de los fenómenos meteorológicos presentes en los últimos años, como en el caso del huracán Odile en 2014, donde según la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros se reportaron pérdidas por 14,700 millones y ocasionaron que el 99% de la población no tuviera energía eléctrica (SAGARPA, s,f Reporte del huracán "Odile"). De las actividades antropogénicas, el sector energético es uno de los principales sectores que contribuyen al cambio climático, responsable del 25% de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial (Edenhofer, 2015). De acuerdo al Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, la generación de energía a nivel nacional representó el 24.1% de la contribución de las emisiones de GEI en el 2015 (INECC, 2015a).

En materia energética, de acuerdo al escenario planteado en el Acuerdo de París, para evitar que la temperatura media global sobrepase los 2ºC, los combustibles fósiles deben ser reemplazados por fuentes de baja emisión de carbono, lo cual sugiere la descarbonización del sector energético para el 2050 (V. Krey et al., 2014). Derivado de ello, México se comprometió a reducir para el 2030 el 22% de los GEI y en 51% el carbono negro (INECC, 2015b). Sin embargo, el contexto histórico del sector energético en nuestro país continúa dependiendo del petróleo y la falta de inversión en infraestructura para aumentar la capacidad de energías renovables, contribuyen a una transición energética lenta (Morales Ramos et al., 2017)

Figura 5 Vulnerabilidad ambiental en B.C.S.



Fuente:(CONAGUA, 2017)

Para evitar que las externalidades negativas del cambio climático sobrepasen la capacidad de respuesta de México, es indispensable tomar medidas. Por ello surgen los compromisos de México en la Contribución Nacionalmente Determinada (CND). El sector energético ha planteado dos escenarios, uno sin la aplicación de medidas de mitigación y el segundo, implementado dichas medidas. En este último escenario, la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) así como de carbono negro, se reducirían significativamente. Impulsar la diversificación de fuentes de energía y acciones de eficiencia energética son algunos de los compromisos de la (CND) que pueden contribuir a la mitigación del cambio climático (INECC, 2015b).

Tabla 2. Compromisos de México en la contribución nacionalmente determinada (NDC) para el sector energético

	Escenario sin medidas de mitigación				Meta con medidas de mitigación
Año	2013	2020	2025	2030	2030
GEI ($MtCO_2e$)	127	143	181	202	139
Carbono negro (miles de toneladas métricas)	8	4	4	3	2

Fuente: (INECC, 2015b)

Con la implementación de distintas medidas de mitigación de GEI, se busca generar el 35% de energía limpia en el 2024 y 43% al 2030. La energía limpia incluye fuentes renovables, la cogeneración eficiente con gas natural y termoeléctricas con captura de CO_2 (SEMARNAT, 2018). Entre las principales estrategias se encuentran:

1) Sustituir en la industria nacional los combustibles pesados por gas natural, energías limpias y biomasa;
2) Reducir en 25% las fugas, venteo y quemas controladas de metano
3) **Controlar las partículas negras de hollín en equipos e instalaciones industriales.**

La reciente legislación y las actuales reformas a la Ley de la Industria Eléctrica dificulta el cumplimiento de las metas establecidas, recientemente se llevó a cabo la revisión del cumplimiento de estos compromisos, en el instrumento publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sobre la Contribución Determinadas a Nivel Nacional se retoman las cantidades comprometidas, en este instrumento México no se comprometió en metas más ambiciosas para la reducción de emisiones, en particular en las que corresponden al sector eléctrico, de manera adicional el cumplimiento de estas metas sigue siendo no condicionada, es decir no existe una obligatoriedad que implique sanciones por no llegar a estas metas de reducción de emisiones..

2.2 Definición de las energías renovables

Según la Ley de Transición Energética las **Energías Renovables** son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes (LTE, 2015).

Figura 6 Tipos de energías renovables

Fuente: Elaboración propia con datos de la Ley General de Industria Eléctrica.

El 4 de noviembre de 2016 se promulga en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo de París, a partir de ello México asume los compromisos de mantener el aumento de temperatura media mundial por debajo de 2ºC y limitar el aumento de la temperatura a 1.5ºC con respecto a los niveles preindustriales, así como reducir las emisiones de efecto invernadero. A partir de ello, y dado que la contribución de la producción de energía eléctrica en las emisiones totales nacionales brutas son de alrededor del 20.26% (142 $MtCO_2e$), México ha establecido en su legislación nacional metas de corto y mediano plazo para la generación eléctrica a partir de fuentes de Energías Limpias. Las metas se fijaron en la Ley General de Cambio Climático, la Ley de Transición Energética como se muestra en la siguiente tabla. (SENER, PRODESEN, 2020)

Tabla 3 Metas de energías limpias e instrumentos de planeación

Año	Metas de participación de energías limpias	Ley o instrumento de planeación
2018	25%	LTE
2021	30%	LTE
2024	35%	LTE/LGCC

Fuente: (SENER, PRODESEN, 2020)

Según el informe del cierre de 2017, México cuenta con un enorme potencial en recursos renovables y gracias a las reformas implementadas en el sector energético, se han ido eliminando barreras que impedían el desarrollo de nuevos proyectos y tecnologías limpias, logrando incrementos en la generación limpia muy por encima de la energía fósil. De 2016 a 2017, la generación fósil creció en 2.07 % y la limpia en 6.98 %.

Durante el 2017, el 21.08 % de la energía eléctrica se generó a partir de fuentes limpias (69,396.16 GWh). La capacidad instalada con energías limpias alcanzó los 22,327.40 MW que representan el 29.5 % de la capacidad nacional instalada.

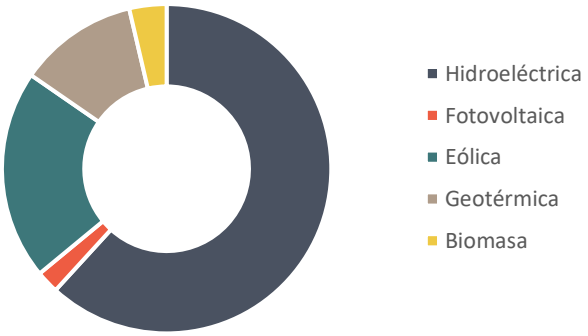
El 2017 fue un año en el que la energía fotovoltaica tuvo un crecimiento sin precedentes, al alcanzar una generación de 1,149.6 GWh (934.81 GWh más que en 2016) y un crecimiento en capacidad instalada de 285.13 MW (73.73 %). El factor más importante del crecimiento en este sector fue el incremento de sistemas de generación distribuida.

Por otra parte, la generación eólica sólo incrementó en 1.5 % con respecto al 2016 (157.09 GWh), debido a los daños causados en el estado de Oaxaca por el sismo del 7 de septiembre de 2017, que provocó paros técnicos en varios parques eólicos y en la Subestación Eléctrica de Ixtepec, la cual hasta enero de 2018 funcionaba al 66 % de su capacidad (SENER, 2017).

Figura 7 Generación de energía eléctrica renovable en México

Tipo de energía	Generación bruta (GWh/año)
Hidroeléctrica	31,847.66
Fotovoltaica	1,149.60
Eólica	10,619.66
Geotérmica	6,041.19
Biomasa	1884.07
Océanica	N/A

- Generación eléctrica renovable correspondiente del 1 de enero al 31 de diciembre de 2017
- Fuente: Reporte de avance de energías limpias. 2017 (SENER) Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418391/RAEL_Primer_Semestre_2018.pdf



El Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL)es una herramienta desarrollada por la Secretaría de Energía (SENER) que presenta información sobre el aprovechamiento de las fuentes de energía limpia para la generación de electricidad. Además, cuentan con datos de carácter informativo sobre las zonas de protección ambiental, riesgo climático, riesgo geológico, riesgo social, entre otras. Esta información puede ser consultada a través de tablas, gráficas, fichas informativas y mapas interactivos.

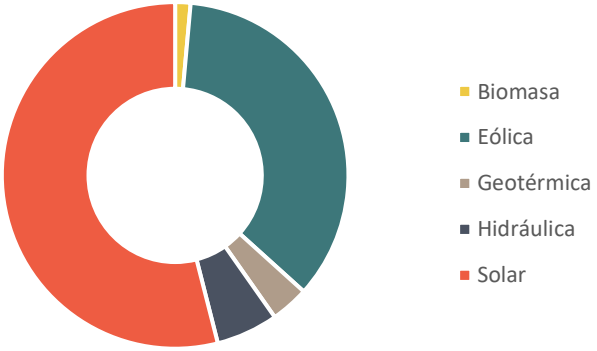
En el caso de México, las características geográficas, físicas y naturales, hacen que el país tenga un importante potencial para la generación de energía a través de fuentes renovables.

Es importante precisar las particularidades tanto del potencial probado como del potencial probable. De acuerdo al INEL, el potencial probado significa que ya se cuentan con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de aprovechamiento, en tanto que el potencial probable es aquél que ya cuenta con estudios de campo, pero por sí solos no son suficientes para comprobar la factibilidad técnica y económica del aprovechamiento de que se trate:

Figura 8 Generación potencial de energía renovable

Energía	Probado (GWh/a)
Biomasa	1,050.88
Eólica	25,821.43
Geotérmica	2,610.13
Hidráulica	4,239.37
Solar	39,527.89
Oceánica	N/A

- Potencial de generación eléctrica de las energías renovables actualizada al 30 de septiembre de 2017
- Fuente: Inventario Nacional de Energías Limpias; Disponible en: https://dgel.energia.gob.mx/inel/



Dentro del PRODESEN 2020-2024 publicado en el periodo del presidente Andrés Manuel López Obrador se encuentra anexado el Reporte de Avance de Energías Limpias, este contiene información del avance de las tecnologías renovables de los años 2018, 2019 y 2020.

Tabla 4 Evolución histórica de la generación neta de energías renovables en GWh (2018- 2020)

Tecnología/fuente de energía		2018	2019	2020[1]
Hidroeléctrica	Hidroeléctrica de Embalse Mayor	26,442.52	18,299.80	18,523.93
	Hidroeléctrica Menor	5,804.83	5,310.65	4,659.87
Hidroeléctrica total		32,247.35	23,610.44	23,183.85
Geotermoeléctrica		5,064.66	5,060.66	3,880.98
Eoloeléctrica		12,435.25	16,726.91	15,549.27
Fotovoltaica		2,193.56	8,399.47	11,360.01
Bioenergía	Bagazo de Caña	1,537.29	1,413.51	551.75
	Biogás	124.75	132.59	80.25
	Relleno Sanitario	83.40	91.20	63.23
	Licor Negro	71.44	38.05	13.48
	Biomasa	0.04	0.04	0.00
Bioenergía		1,816.92	1,675.39	708.71
Total Renovables		**53,757.74**	**55,472.87**	**54,682.82**

[1] Generación neta de la CFE y el resto de los permisionarios, enero-octubre 2020.

Fuente: (SENER, PRODESEN, 2020)

En la Tabla 5 se puede apreciar que a lo largo de los últimos cinco años la energía hidroeléctrica y la energía geotérmica disminuyen con el paso del tiempo.

Tabla 5 Evolución histórica de la generación neta de energías renovables en GWh (2018- 2020)

Tecnología/fuente de energía	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hidroeléctrica total	30,891.54	30,909.34	31,847.66	32,247.35	23,610.44	23,183.85
Geotermoeléctrica	6,330.98	6,148.92	6,041.19	5,064.66	5,060.66	3,880.98
Eoloeléctrica	8,745.15	10,462.57	10,619.66	12,435.25	16,726.91	15,549.27
Fotovoltaica	190.26	214.79	1,149.60	2,193.56	8,399.47	11,360.01
Bioenergía	1390.83	1471.26	1884.07	1,816.92	1,675.39	708.71
Total Renovables	47,548.76	49,206.88	51,542.18	53,757.74	55,472.87	54,682.82

Fuente: Elaboración propia con datos de los Reportes de Avances de Energía Limpia.

En el caso de Baja California Sur, de acuerdo a datos del Atlas Nacional de Zonas de Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) el potencial renovable es amplio, el análisis de proyectos potenciales para la generación de electricidad por energías limpias de 2017, ubica a la energía solar fotovoltaica con un potencial de 177.59 GWh/a, en la distribución por municipio se coloca La Paz como líder en potencial de generación con 63.10 GWh/a lo equivalente a un 35.53 % del potencial total, seguido por el municipio de Comondú y Los Cabos. Por otro lado, el potencial geotérmico en la región es el segundo más importante, representando el 45.28% del potencial total. El área de Comondú- Loreto representa un potencial de 74.49 GWh/a equivalente al 48.37% del potencial por municipio (SENER, 2017).

Del 2014 al 2016, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior (CICESE) realizaron un estudio de la variabilidad océano - atmósfera en la Bahía de La Paz con el objetivo de obtener el registro de variables ambientales para aportar información en la toma de decisiones gubernamentales, prevenir riesgos y para el aprovechamiento de energías renovables. En este estudio, se encontraron en las dos estaciones de monitoreo (San Evaristo e Isla Ballena) que los comportamientos en la temperatura del aire y presión atmosférica son similares. Para la velocidad del viento, se observó que en San Evaristo el efecto orográfico de la Sierra del Mechudo prolonga los vientos con dirección noroeste de octubre hasta mayo y en verano se muestra un comportamiento monzónico con vientos del sureste. Mientras que, para la Isla Ballena, de noviembre a abril (otoño - invierno) se presentan los vientos con dirección casi franco del norte y de carácter monzónico de abril a septiembre (primavera - verano) (Herrera Cervantes et al., 2017).

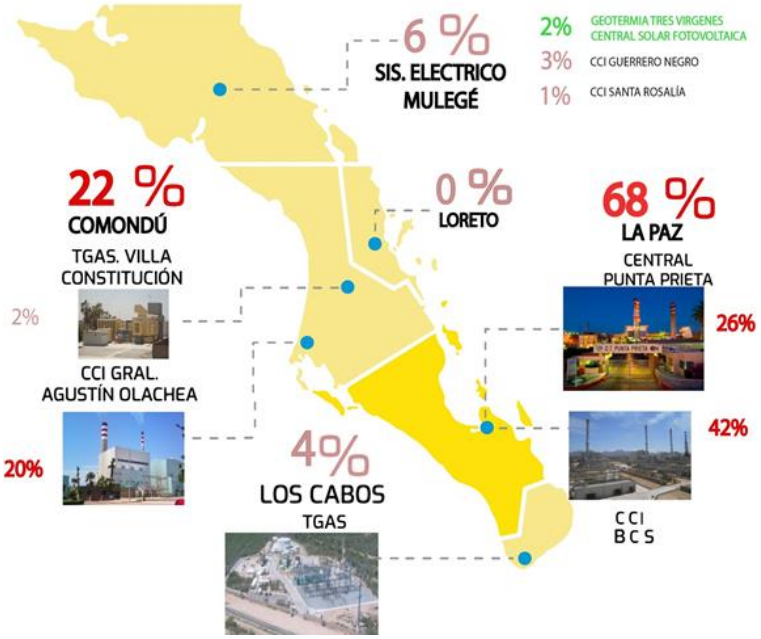
A partir de los resultados de este estudio podemos concluir que el potencial de energía renovable en la región es alto y que en el cumplimiento de las metas de disminución de emisiones, las energías renovables tendrán un gran aporte en la región al aprovechar el potencial reportado en diferentes instrumentos como el Atlas Nacional de Zonas de Alto Potencial de Energías Limpias de la Secretaría de Energía.

2.3 Generación eléctrica y emisiones en la Paz

La generación de electricidad en el estado de Baja California Sur se concentra en los municipios de La Paz y Comondú. Sus centrales eléctricas se encuentran integradas en dos sistemas, el Sistema eléctrico Baja California Sur (SBS). que abastece a cuatro municipios: La Paz, Los Cabos, Loreto y Comondú, y el sistema eléctrico Mulegé, que como su nombre lo indica, abastece al municipio de Mulegé. En 2019, el municipio de La Paz aportó el 68% de electricidad de todo el estado, (ver Figura 9) en sus dos centrales (Central de Combustión Interna B.C.S. y Central Punta Prieta), las cuales liberan grandes cantidades de contaminantes debido a falta de mantenimiento (CFE, 2019b) y uso de tecnología anticuada. De acuerdo a la solicitud de transparencia con No.1816400381819 solicitada por CERCA en 2019 a la Comisión Federal de Electricidad

(CFE), las centrales utilizan combustóleo con un contenido de azufre que varía entre el 4.00% a 4.25% (CFE, 2019c), con lo cual hace que este no cumpla con normas internacionales por su alto contenido en azufre.

Figura 9 Generación de energía eléctrica por central en B.C.S. año 2019

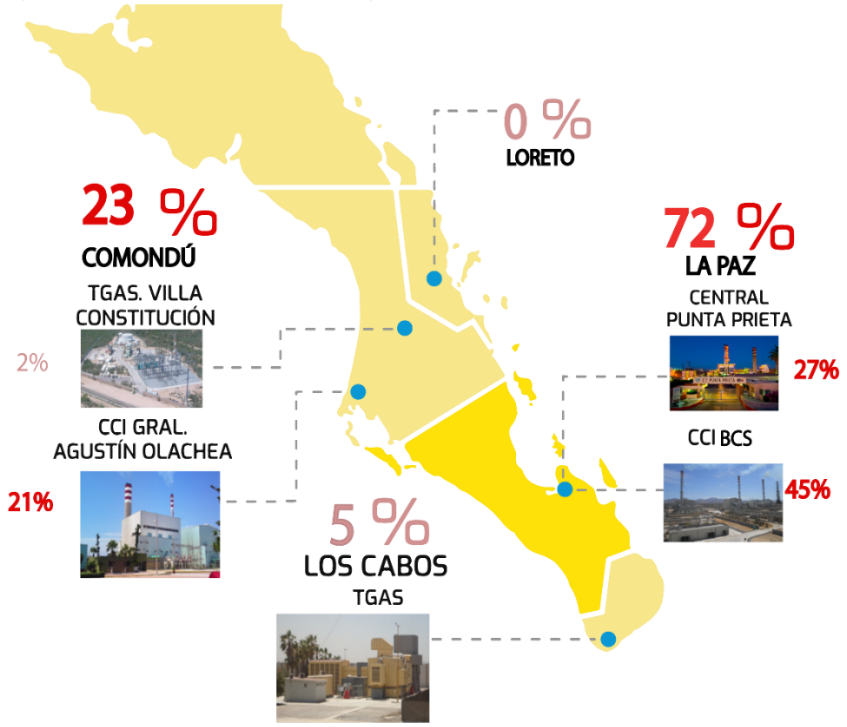


*Incluye sistema eléctrico Mulegé y Baja California Sur.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CFE, 2020a).

La siguiente Figura 10 a diferencia de la Figura 9, muestra la generación de energía eléctrica por central en el sistema eléctrico B.C.S., es decir, que se excluye al sistema eléctrico Mulegé al ser un sistema aislado independiente. Como se ha mencionado con anterioridad, el sistema eléctrico B.C.S. abastece a los municipios de La Paz, Los Cabos, Loreto y Comondú. En 2019 el municipio de La Paz generó el **72% de la energía en el Sistema Baja California Sur (SBS), lo cual corresponde a una generación de 1,706.4 GWh**. El municipio de Comondú y Los Cabos generaron el 23% y el 5%, respectivamente de la generación de energía eléctrica en el sistema B.C.S. (CFE, 2020a).

Figura 10 Generación de energía eléctrica por central en el SBS. 2019



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CFE, 2020a).

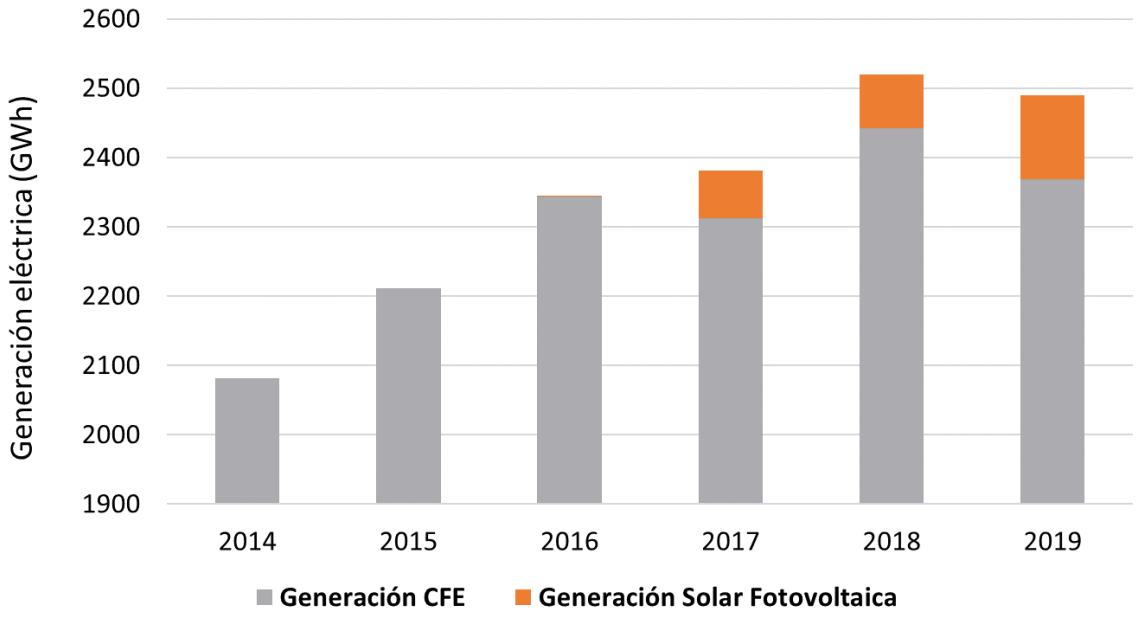
El sector terciario en B.C.S. es de gran relevancia en el estado al contribuir en más del 70% al Producto Interno Bruto (PIB) del estado (INEGI, 2018) y está acompañado de una alta demanda energética. Derivado del alto crecimiento turístico, la demanda energética prácticamente se concentra en el sur del estado y durante 2017, Los Cabos concentró el 48% de las ventas de energía eléctrica en el estado mientras que La Paz el 33% (Gobierno B.C.S., 2015). En 2018 se presenta la mayor demanda histórica en el sistema eléctrico BCS, a inicios del 2019 la tendencia de la demanda seguía al alza, antecediendo lo que se veía como otro récord histórico en la demanda en la temporada de verano.

2.3.1 "Apagones durante 2019"

Se puede apreciar en la Figura 11 la evolución de la generación anual de energía bruta en el estado de B.C.S. desde el año 2014 a 2019. En general, se observa una tendencia creciente en la generación de energía, sin embargo, se observa que en el año 2018 la generación fue mayor que la generada en 2019. Es probable que esta diferencia se deba a los cortes en el suministro de la energía eléctrica, conocidos como "apagones". No obstante, de acuerdo a CFE la energía no suministrada por los "apagones" fue de 1,367.89 MWh (CFE, 2020d), cifra que parece mínima, a pesar de que el día 20 de agosto de 2019, el 59% de los usuarios en el municipio de La Paz fueron afectados por los "apagones".

De acuerdo a CFE (2020d) se registraron 29 "apagones" debido a la alta demanda energética. No obstante, datos del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) reportaron que en el 2019 hubo 63 interrupciones a la red, de los cuales, 32 se les atribuye a declaratorias de Estados Operativos de Emergencia. (CENACE, 2020a).

Figura 11 Evolución de la generación anual de energía eléctrica en B.C.S. (2014-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CFE, 2020a).

*La generación solar fotovoltaica se incluye a partir del año 2016. Para los años 2014 y 2015 no se cuenta con información disponible.

Por otra parte, de acuerdo a la solicitud de transparencia con No. De Folio 1120500037620, CENACE menciona que son **63 interrupciones de energía eléctrica en el sistema eléctrico de B.C.S**., esto debido a dos razones, una es si la reserva operativa se presenta menor al 4%, CENACE implementa el mecanismo de desconexión de carga, la segunda razón es que se pueden presentar instrucciones de conexión y desconexión de carga para realizar el control en la frecuencia de la energía eléctrica. En la Tabla 6 se muestra el número de afectaciones de carga en 2019 por los dos tipos de afectación, así como el número de afectaciones por dos tipos de centrales, centrales solares y centrales de generación convencional.

Tabla 6. Tiros de carga en el SBS.

Tipo de afectación	Cantidad de tiros de carga	Tiros de carga por tipo central	
		Centrales Convencionales	Centrales Fotovoltaicas
Por esquema de baja frecuencia	30	29	1
Por tiro manual	33	25	8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CENACE, 2021a).

A su vez, se estimó que el número de usuarios afectados a nivel estatal por los "apagones" en el 2019 fue de **314,382** con la base de datos proporcionada por (CFE, 2020d), los resultados se muestran en la Tabla 7

Tabla 7 Número de usuarios afectados por los "apagones" durante 2019

Municipio	No. usuarios afectados*
Los Cabos	127,673
La Paz	124,849
Comondú	30,206
Loreto	8,553
Mulegé	23,101

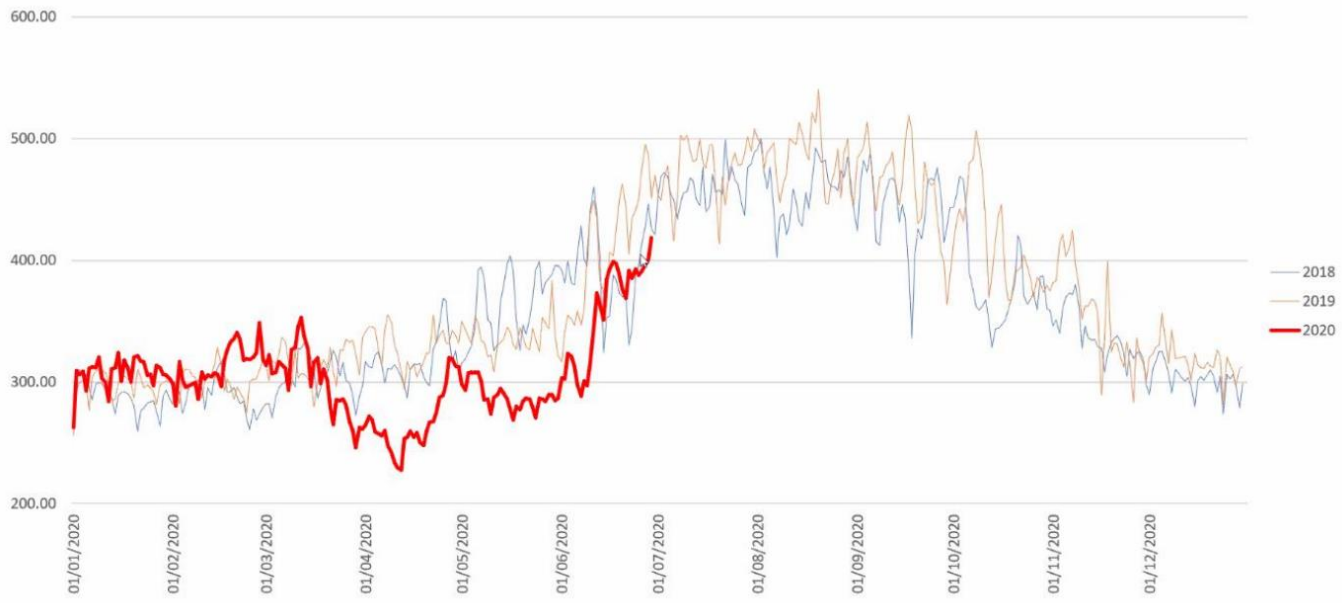
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CFE, 2020d) y (Gobierno B.C.S., 2015).
*Cálculos propios a partir de porcentajes de usuarios afectados

De acuerdo a estos números podemos inferir, que los habitantes de Baja California Sur afectados durante el periodo de "los apagones" pudo ser mayor, ya que la información sólo considera un usuario por servicio. Por otro lado, cabe resaltar que los tiros de carga en **centrales fotovoltaicas fueron solo 9 de los comparados a los 54 presentados en las centrales convencionales**, es decir la generación de electricidad en centrales fotovoltaicas fue entregada al sistema eléctrico en el momento en que se presentaba mayor déficit, la generación fotovoltaica en 2019 se duplicó en comparación al 2018, de acuerdo a esta información de no haber capacidad instalada solar fotovoltaica al momento de "los apagones" el déficit de electricidad en el Sistema Baja California Sur (SBS) pudo ser de mayores dimensiones.

2.3.2 Influencia de los apagones en los Precios Marginales Locales en B.C.S.

Otra de las afectaciones de los apagones en el Sistema Baja California Sur (SBS) son los precios marginales, es decir, los precios a los que se compra la electricidad por el Centro Nacional del Control de la Energía en el Mercado Eléctrico de corto plazo. Podemos observar que la tendencia al alza en la demanda de energía del SBS se mantiene en el verano como comportamiento estacional (ver Figura 12), debido al consumo principalmente por razones de confort climático.

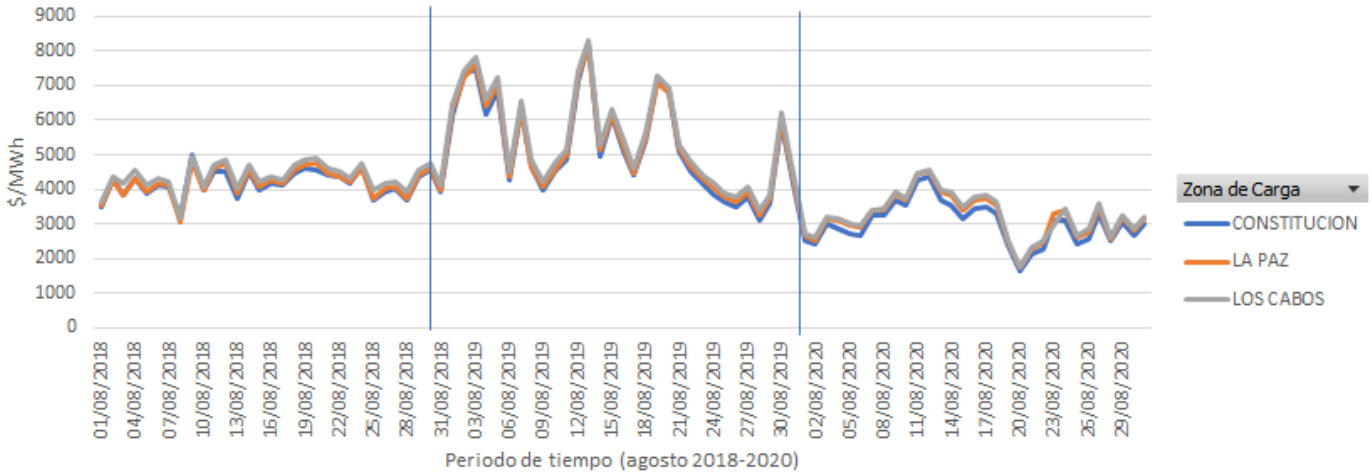
Figura 12 Comportamiento mensual de la demanda eléctrica del SBS. (2018-2020)



Fuente: Imagen tomada de (CENACE, 2020a).

En el año 2019, como ya se mencionó con anterioridad, se presentaron más de 60 apagones en el Sistema Baja California Sur (SBS). Las afectaciones de estos cortes en el suministro no solo se derivaron en cuestiones técnicas, sino que también derivaron afectaciones en los costos de la electricidad que adquiere el CENACE. Los precios en los nodos de las zonas en Constitución, La Paz y Los Cabos pertenecientes al sistema B.C.S. sufrieron un **incremento de más del 100%** comparado al año anterior (2018) y al año posterior (2020) (Figura 13). Estos altos costos, si bien no se vieron reflejados directamente en las facturaciones de electricidad de los usuarios, si estimulan que los costos en el Sistema Baja California Sur (SBS) **sigan al alza y se mantengan como los más altos del país**. Las afectaciones en las tecnologías de generación y la poca oferta de competidores en el Mercado Eléctrico del sistema B.C.S., provocan que en Baja California Sur estemos condenados a los costos más altos del país, traduciéndose en destinar cada vez **mayores cantidades de dinero a subsidios de energía eléctrica**.

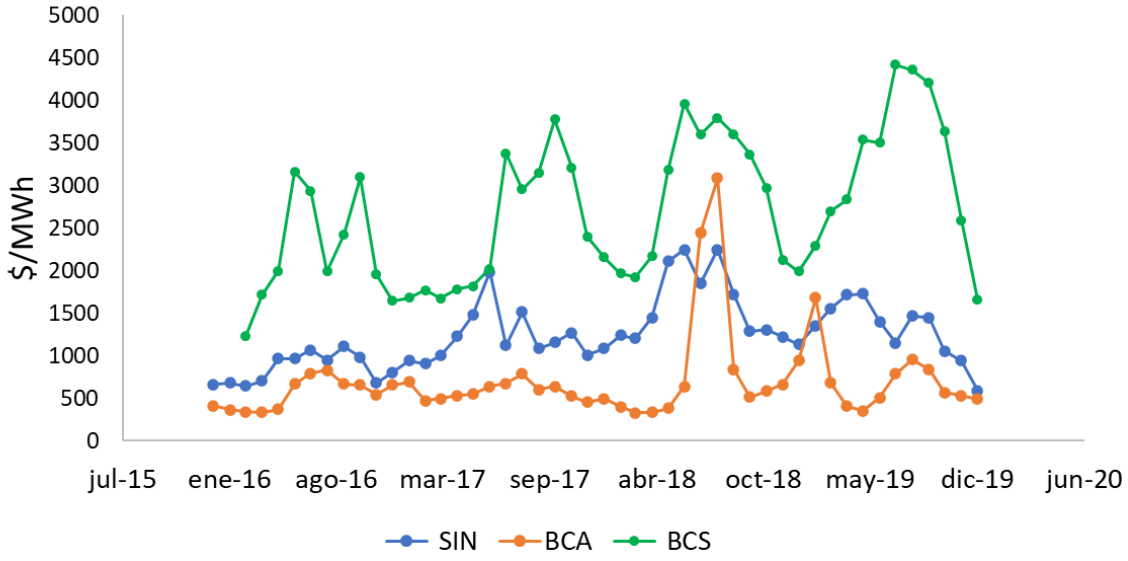
Figura 13 Precios en nodos distribuidos agosto por zona de carga (2018-2020)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CENACE, 2021b).

Al hacer un análisis de los Sistemas Eléctricos existentes en México, podemos observar (ver Figura 14) que los **costos marginales del SBS son mayores** a los del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y a otro Sistema eléctrico también desconectado de la red nacional, el Sistema Baja California (SBC). El caso del sistema BC, es diferente al SBS, debido que la región de Baja California se encuentra interconectado a la red eléctrica de la región oeste de EUA-Western Electricity Coordinanting Council (WECC). Donde bajo dicho esquema el estado de California ha logrado una penetración de histórica de energía renovable.

Figura 14 PML, precio promedio mensual del MDA



Fuente: Elaboración propia con datos de (CENACE, 2020b).

2.3.3 Capacidad energética en La Paz

En 1978 en la ciudad de La Paz se implementó el primer proyecto de abastecimiento energético con la construcción de la Central Eléctrica Punta Prieta (C.T.P.P.), la cual aporta al sistema eléctrico del estado 112.5 MW y para situaciones de emergencia, se contemplaron dos unidades de turbogás con una capacidad de 18 y 25 MW, respectivamente (Bermúdez C., 2016).El rápido crecimiento de la población y el sector turístico promovieron la apertura en el 2005 de la primera unidad de la Central de Combustión Interna B.C.S (C.C.I.), situada también en la ciudad de La Paz, la cual cuenta con una capacidad de 37.5 MW (Unidad I). En este mismo año, inició en operación dos unidades más de la C.C.I. (Unidad II y Unidad III), con una capacidad de 41.9 MW cada una. Siguiendo la misma dinámica, en el 2013 se puso en marcha la Unidad IV (41.9 MW) y Unidad V (46.89 MW). A su vez, la C.C.I. cuenta con una turbina de gas aeroderivada de 25 MW. Ambas centrales (C.T.P.P. y C.C.I.) son de gran importancia para el sistema eléctrico de Baja California Sur al aportar cerca del 70% de la capacidad de generación eléctrica (CFE, 2020a). **La Paz es uno de los principales municipios con un alto volumen de ventas en energía, tan solo después del municipio de Los Cabos**, tal como se aprecia en la Tabla 8. en donde se encuentra el volumen de ventas de energía eléctrica en el estado de Baja California Sur de 2015 a 2017 por municipio en unidades de MWh. En este último año (2020), el municipio de La Paz representó el 31% del volumen total de las ventas de energía eléctrica.

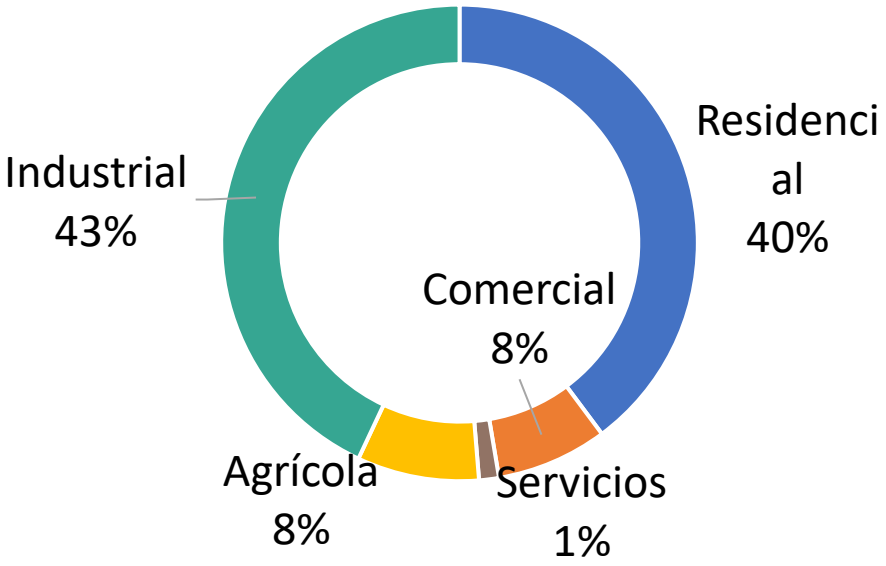
Tabla 8. Volumen de ventas de energía eléctrica (MWh) en B.C.S. (2015-2017)

Municipio	2015	2016	2017	2018	2019	2020
La Paz	790,456	812,431	792,707	815,035	795,021	798,489
Los Cabos	990,903	1,091,469	1,125,858	1,274,360	1,336,200	1,201,993
Comondú	244,584	261,486	265,301	286,836	280,140	295,749
Loreto	57,209	59,491	63,826	64,408	66,471	67,351
Mulegé	120,427	120,435	122,115	123,760	124,975	129,731
Total	2,203,578	2,345,312	2,369,807	2,564,399	2,602,809	2,493,313

Fuente: Elaboración propia con datos de (CFE, 2021a).

En el año 2020 las ventas totales de energía eléctrica en el estado de B.C.S. fueron correspondientes a 2,493 GWh y tal como se muestra en la Figura 15, el sector industrial fue la actividad que representó el mayor porcentaje de las ventas con un 43%, seguidas por el sector residencial con un 40% (38% de las tarifas domésticas y 2% referente a la tarifa doméstica de alto consumo DAC) los sectores agrícolas y comercial quedan en tercer lugar en ventas con una participación del 8% por sector. El sector de servicios se posicionó en el último lugar con tan solo el 1% en ventas. Como podemos observar en la distribución de las ventas de electricidad contra la generación de electricidad existe una marcada disparidad**, el municipio de Los Cabos en quién tiene un mayor volumen de ventas a pesar de que la generación en sitio equivale solo al 5% de la generación total del sistema BCS.** Para ver la segmentación por tipo de sector para los municipios de La Paz y Los Cabos vea el anexo de energía del presente documento.

Figura 15 Ventas de energía eléctrica por tipo de sector en B.C.S. año 2020

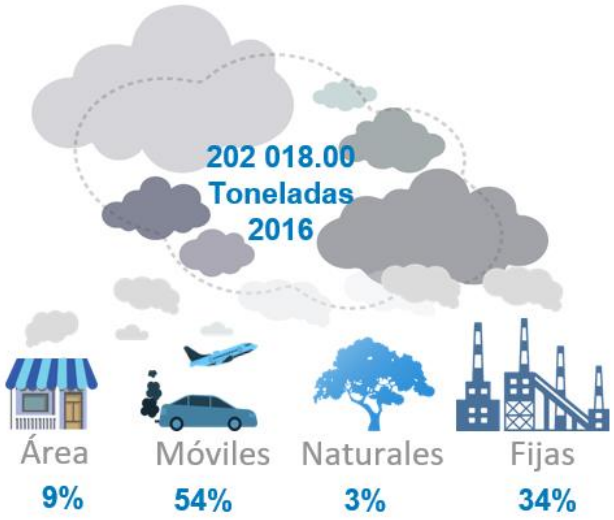


Fuente: Elaboración propia con datos de (CFE, 2021a).

2.3.4 Contaminación atmosférica por generación eléctrica

Respecto a la contaminación atmosférica, SEMARNAT (2019) reporta que las fuentes fijas en el año 2016 (incluida la generación de electricidad), contribuyeron en un 34% de las emisiones totales en el estado, por debajo de las fuentes móviles que representaron el 54% de estas (ver Figura 16). A pesar de este pequeño porcentaje, **las fuentes fijas aportan el 92% de dióxido de azufre (SO2) y es la tercera fuente de emisión de óxidos de nitrógeno (23%)** (Bermúdez C., 2016).

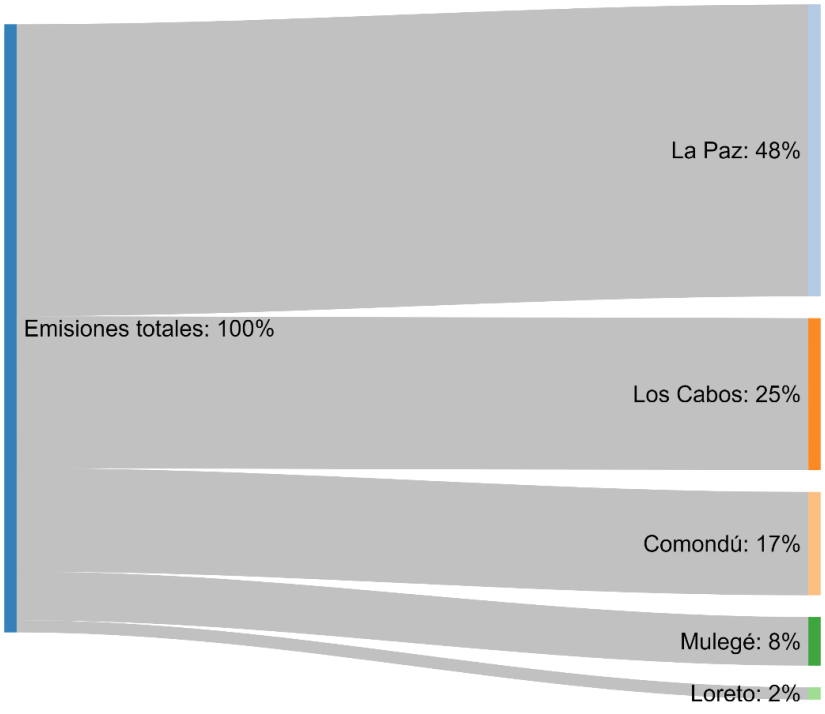
Figura 16 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en B.C.S. 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019).

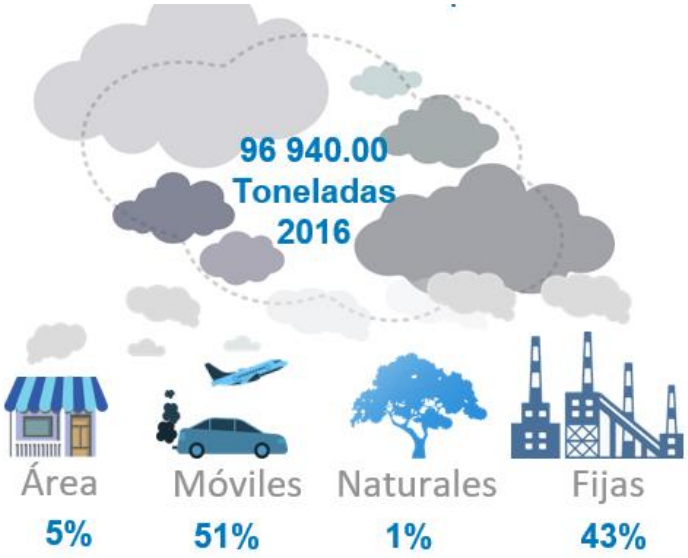
Por su parte el diagrama de sankey (ver Figura 17) muestra las emisiones por contaminantes criterio totales en el estado de B.C.S. en 2016 así como el porcentaje de las emisiones por municipio. Se puede apreciar que la ciudad capital es la responsable del **48% de las emisiones totales, correspondientes a 96,940 toneladas, donde el 51% de estas son debido a las fuentes móviles, seguidas por las fuentes fijas que corresponden a la generación de electricidad en un 43%** (ver Figura 18).

Figura 17 Emisiones por contaminantes criterio por municipio en B.C.S. año 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019).

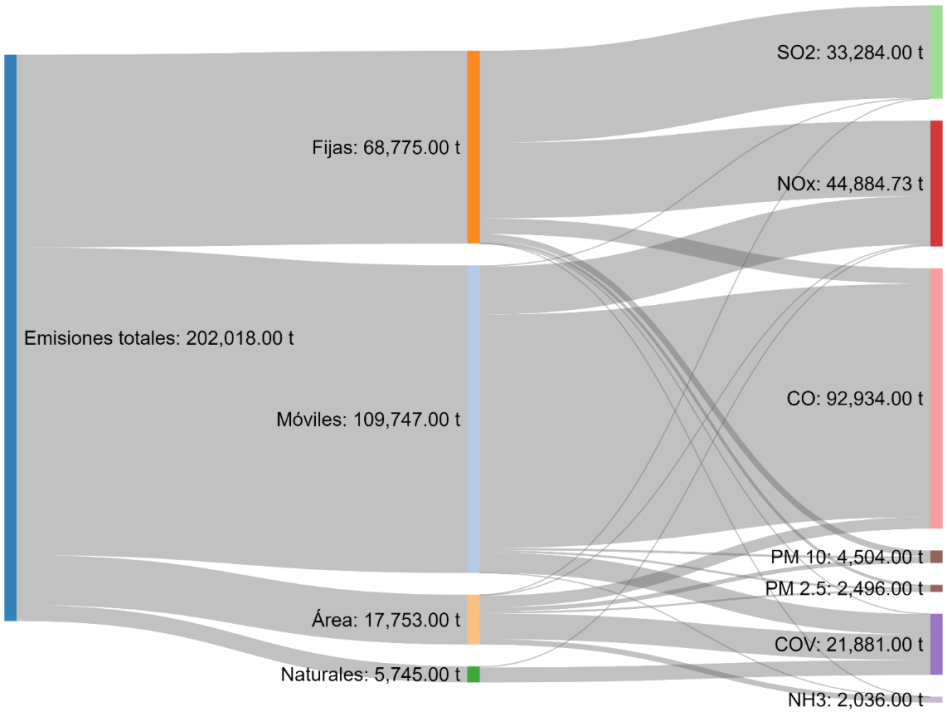
Figura 18 Emisiones por contaminantes criterio totales en el municipio de La paz por tipo de fuente



Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019).

Como se observa en la Figura 16 la cantidad total de emisiones en el estado para 2016 es de 202,018 toneladas. La contribución por tipo de fuente en cantidades y por tipo de contaminante se aprecian en la Figura 19.

Figura 19 Diagrama de sankey de las emisiones en el estado de B.C.S. en 2016

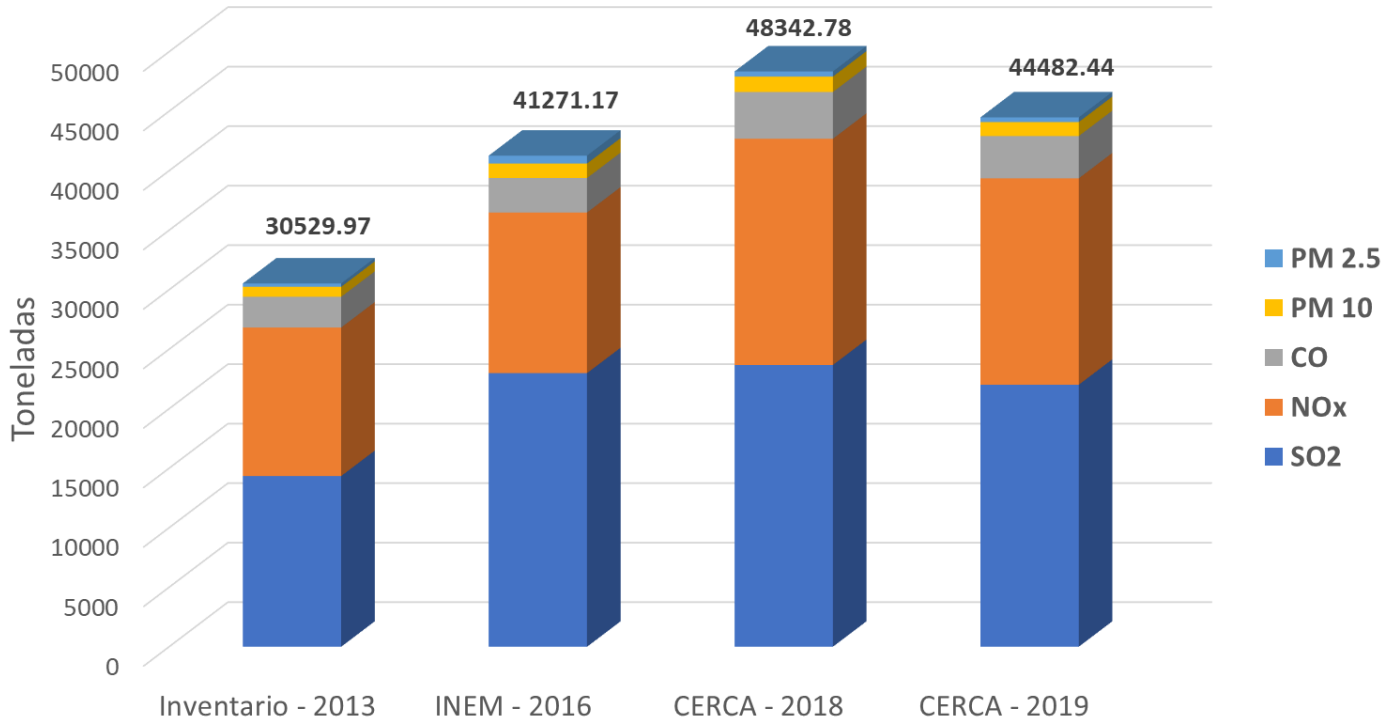


Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019)

Adicionalmente, el crecimiento de los contaminantes criterio por fuentes fijas de 2013 al 2018 ha sido significativo. De acuerdo a los datos presentados en el Inventario de Emisiones para la Ciudad de La Paz del año 2013 y a los cálculos realizados por CERCA, es posible decir que las emisiones de contaminantes criterio han aumentado en un 58.35% de 2013 a 2018 en tan solo 5 años.

El aumento en los contaminantes criterio ha sido relevante en un corto periodo de tiempo, contrario a la tendencia nacional e internacional en emisiones por fuentes fijas. Esto se puede apreciar con mayor claridad en la Figura 20, donde se muestra la evolución de las emisiones por contaminantes criterio de la Central Termoeléctrica y Central de Combustión Interna en La Paz (para ver la cantidad de emisiones emitidas ver Anexo energía). Se observa una disminución en las emisiones durante el 2019, lo cual puede estar relacionado con los apagones en ese año y el decrecimiento de la demanda de energía (ver Figura 11).

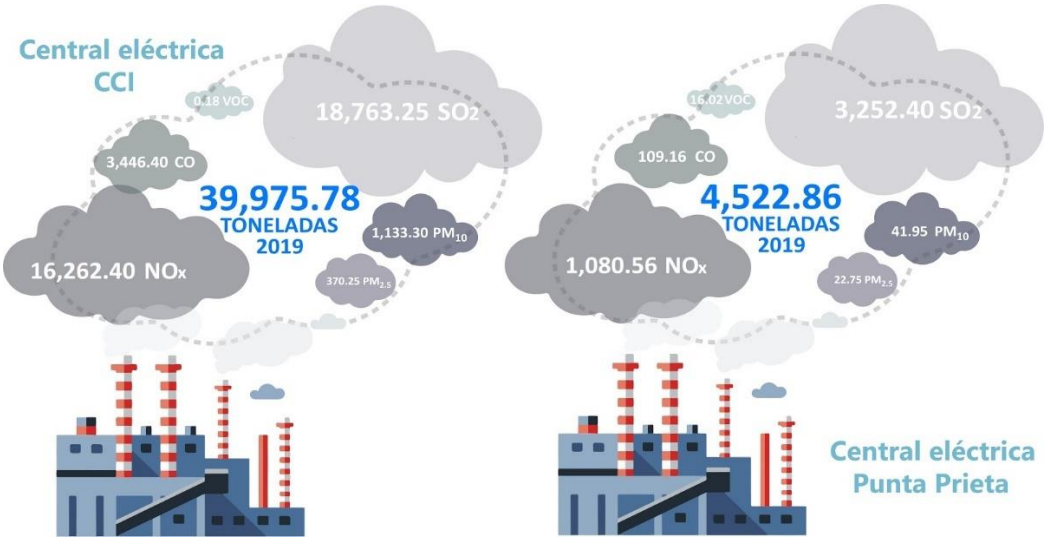
Figura 20 Evolución de contaminantes criterio por fuentes fijas en La Paz, B.C.S.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Bermúdez C., 2016), (SEMARNAT, 2019) y (CFE, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h)

De forma parecida, la Figura 21 muestra las toneladas de emisiones por contaminantes criterio por tipo de contaminante y por central en la ciudad de La Paz en el año 2018. **La central CCI B.C.S. es la mayor responsable de la emisión de contaminantes lo cual está relacionado con su capacidad de generación, ya que genera el 45% del total de energía eléctrica** (en el año 2019) del sistema eléctrico B.C.S. (ver Figura 10). Los contaminantes predominantes emitidos durante este proceso son Dióxidos de Azufre (SO2) y óxidos de Nitrógeno, contaminantes de presencia constante en los monitoreos de la calidad del aire de la ciudad de la ciudad de La Paz.

Figura 21 Emisiones de contaminantes criterio por las centrales eléctricas en la Cd. de La Paz 2019



Fuente: Cálculos propios con datos de (CFE, 2020f,2020h).

Adicionalmente, se realizó el cálculo de la emisión de gases de efecto invernadero para dichas centrales, la Tabla 9 muestra los resultados en Gg de CO2 equivalentes, dichos valores son la suma de CO2, CH4 y N2O.

Tabla 9 Emisiones de CO2 por las centrales eléctricas en la Cd. de La Paz 2019

Central	Potencia instalada (MW)	Generación (GWh)	Gg CO_2 equiv.	FE $kgCO_2$ /kWh
CT Punta Prieta	155.5	640.12	577.44	0.90
CCI B.C.S.	235.6	1066.30	734.69	0.69
Total	391.1	1706.42	1312.14	0.80

Fuente: Cálculos propios con datos de (CFE, 2020f,2020h).

El combustible utilizado en ambas centrales eléctricas de La Paz es combustóleo y para las unidades de turbogás se utiliza diésel. Dichos combustibles llegan a la bahía de La Paz en buques. El combustóleo es un combustible residual de la destilación y craqueo del petróleo, el cual proviene principalmente de distintas refinerías del país (Bermúdez C., 2016). Asimismo, es importante mencionar que el combustóleo nacional tiene un alto contenido de azufre, óxidos de nitrógeno y metales, lo cual se refleja en los altos niveles de contaminación presentes en la ciudad y en el aumento de GEI los cuales contribuyen a la afectación de la calidad del aire en la ciudad, al aumento en la acidificación de los océanos y al daño en los manglares, entre otros.

A su vez, **los reportes de la calidad del combustóleo utilizado en las centrales de La Paz, han demostrado que el contenido de azufre oscila entre 4.00% a 4.35% (CFE, 2019b)** de la composición de este. Por tanto, su combustión resulta en la liberación de alto contenido de SO_2 (Dióxido de Azufre) y NO_x (Óxidos de nitrógeno) los cuales exceden significativamente las regulaciones globales. Estos compuestos perjudican las vías respiratorias y el medio ambiente, causando lluvias ácidas, el adelgazamiento de la capa de ozono, generación de smog y aumento de los GEI (Sun et al., 2016).

Los daños a la salud del ecosistema marino por la generación eléctrica están cada vez más documentados en el mundo. En el 2019, CERCA en colaboración con el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) realizaron un análisis de muestras del agua de mar de una comunidad pesquera en San Buto, municipio de Comondú, a partir de una denuncia ciudadana por la aparición en el mar de una mancha oscura presente en el mar de aproximadamente 2 kilómetros de diámetro. Estas muestras se tomaron a una distancia de 15 km de la Central General Agustín Olachea Avilez. Tal como se muestra en la Figura 22, en el análisis de

las muestras se encontraron circunferencias de color brillante que posiblemente puedan ser estructuras cristalinas de diversos metales pesados como mercurio, vanadio, selenio o cadmio, resultantes de una inadecuada combustión (Tabla 10), capaz de producir óxidos complejos que provocan una grave contaminación atmosférica y problemas de salud en la población expuesta (Lin, 2000). La evidencia encontrada a partir del análisis de muestras a metales pesados apunta a que la concentración de dicha mancha oscura en el mar, puede tener alguna relación con las emisiones de la Central Agustín Olachea ubicada en el municipio de Comondú.

Figura 22 Presencia de circunferencias brillantes en muestras de agua de mar en San Buto, Comondú

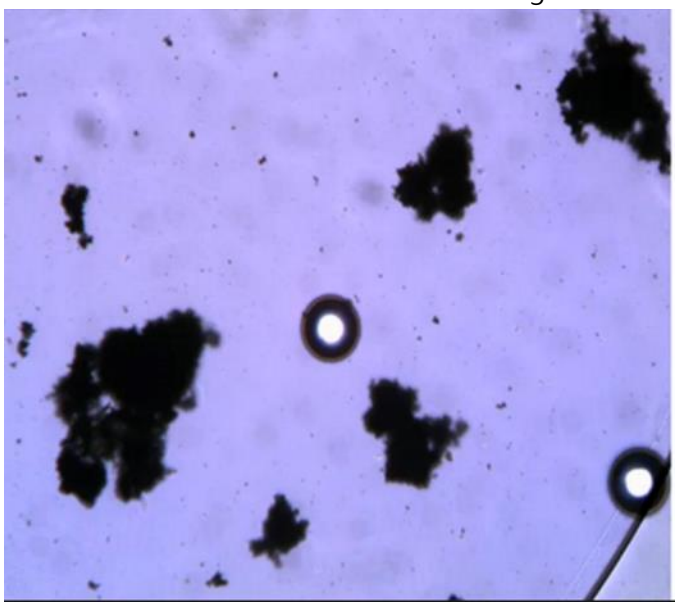


Tabla 10 Elementos anormales encontrados en análisis químico para las muestras de mar tomadas en San Buto

Elemento	Característica	Concentración (ppm)
Cr	Metal pesado/presente en los combustibles fósiles	32.8
Ni	Metal pesado/presente en los combustibles fósiles	79.5
Zn	Metal pesado	15.8
As	Metal pesado/presente en los combustibles fósiles	2.8
Zr	Metal pesado	519
Cu	Metal pesado	9.05
V	Presente en el combustóleo	379
S	Presente en el combustóleo	9664

Por otra parte, de acuerdo a la Comisión Federal de Electricidad el contenido de **vanadio en el combustóleo usado en las centrales eléctricas en B.C.S. es de 451 mg/kg (CFE, 2019b)**. A pesar que se ha reportado una concentración de hasta 1500 mg/kg en combustibles (Amorim et al., 2007) existen referencias adicionales de un máximo permisible de **300 mg/kg, concentraciones superiores representa una de las principales causas de corrosión en válvulas y compresores de una central eléctrica (Rb Bertomeu, S.L., 2003).**

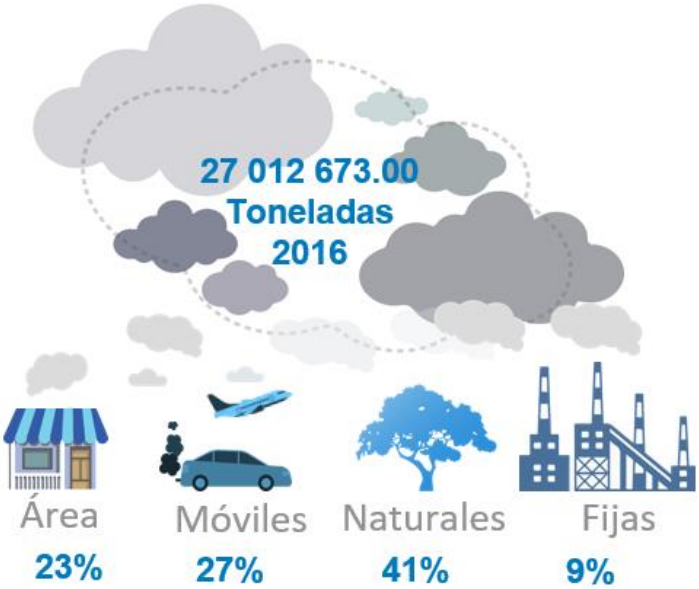
El estudio de salud ambiental en la región es fundamental, considerando la relevancia económica de la actividad pesquera, así como la exposición de posibles metales pesados en comunidades cercanas a la termoeléctrica.

2.3.5 Comparativo nacional de emisiones

2.3.5.1 Emisiones de contaminantes criterio

En México, las emisiones de contaminantes criterio totales fueron de 27,012,673 toneladas en 2016. Las fuentes con mayor contribución porcentual de emisiones de contaminantes criterio son: Naturales, 41%; Móviles, 27%; Área, 23% y por último Fijas con el 9% de las emisiones totales (ver Figura 23)

Figura 23 Emisiones de contaminantes criterio por tipo de fuente en México 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019).

Hecha esta salvedad, la Tabla 11 muestra la comparativa de emisiones de contaminantes criterio entre el estado de B.C.S. contra las emisiones emitidas en México por tipo de fuente. La primera comparación son las emisiones por las fuentes de área, las emisiones nacionales correspondieron a 6.3 millones de emisiones, mientras que B.C.S. solo fue responsable de 17 mil toneladas de contaminantes, esto quiere decir, que las emisiones por fuentes de área estatales correspondieron al 0.28% de las emisiones de área nacionales. Las emisiones por fuentes fijas de B.C.S. representaron el **2.78% de las emisiones nacionales** en dicha categoría, en fuentes móviles B.C.S. representó el 1.5% de las emisiones en

Tabla 11 Comparativa de emisiones de contaminantes criterio B.C.S. México 2016

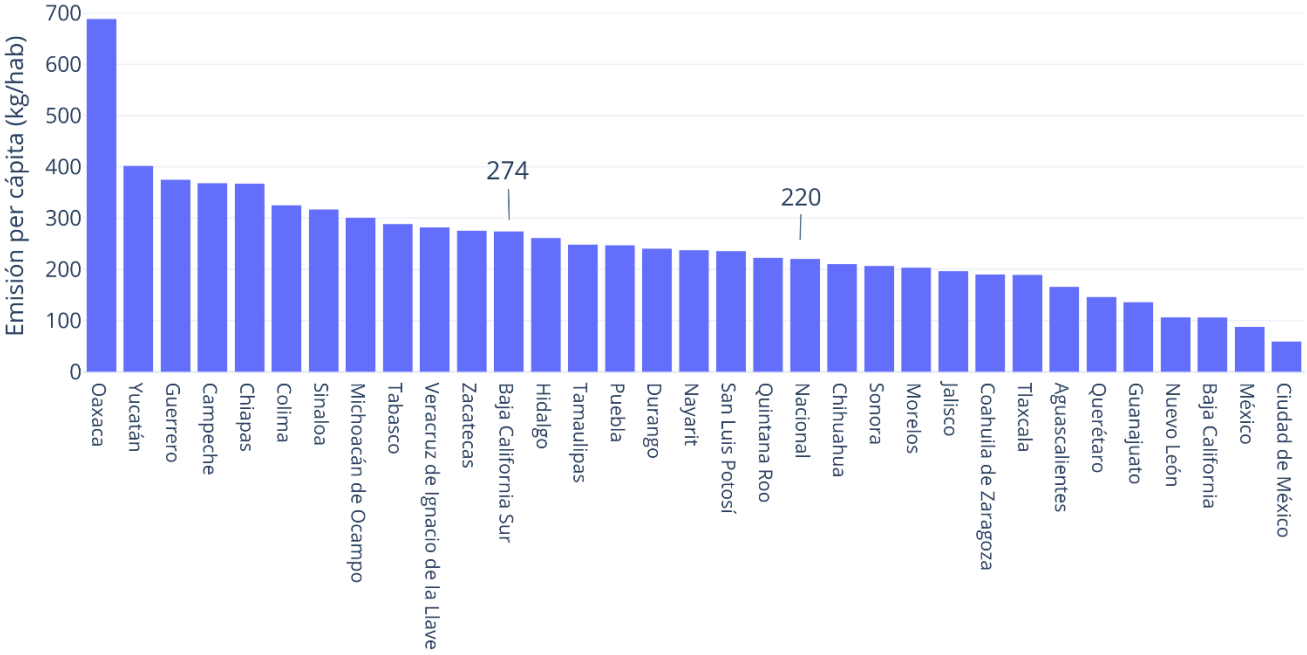
Fuente	Nacional	B.C.S.	Porcentaje
Área	6,306,599.98	17,752.88	0.28%
Fijas	2,467,945.41	68,774.16	2.78%
Móviles	7,295,762.07	109,746.40	1.50%
Naturales	10,942,365.78	57,44.76	0.05%
Totales	27,012,673.25	202,018.19	0.75%

Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT, 2019).

Las emisiones criterio per cápita en el estado de B.C.S. en 2016 fueron de 274.11 kg/hab. Mientras que el valor per cápita a nivel nacional fue de 220.14 kg/hab, es decir 53.97 kg/hab de diferencia. Con esto se puede deducir que B.C.S. tuvo una **emisión per cápita mayor en un 25% con respecto al nivel nacional en 2016**, agregamos a esto que B.C.S. fue el **12avo estado en emisiones per cápita** para este mismo año tal como lo muestra la Figura 24.

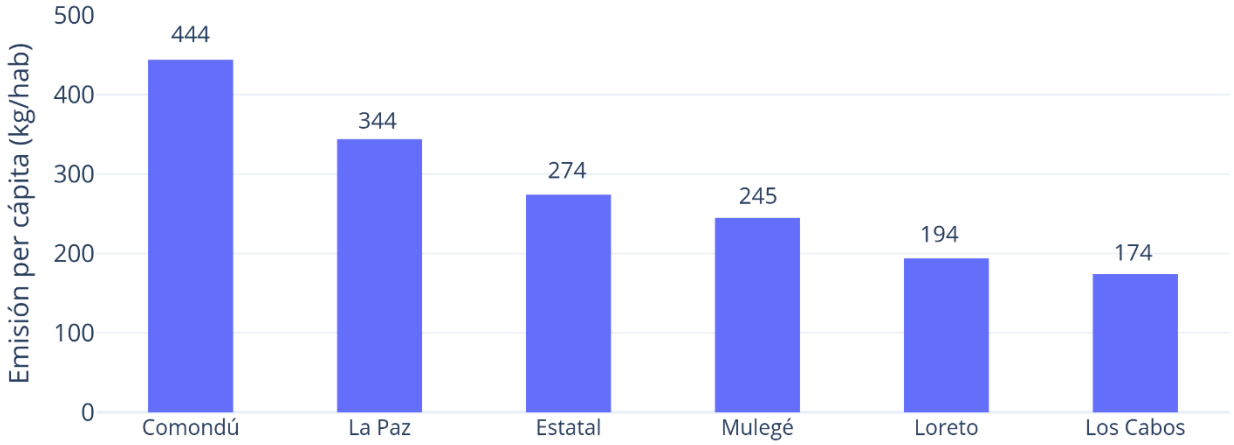
Por su parte la Figura 25 muestra las emisiones criterio per cápita por municipio en B.C.S. Comondú es el municipio con la mayor emisión per cápita del estado con un valor de 444 kg/hab, La Paz se encuentra en 2do puesto con 344 kg/hab, Mulegé en 3er puesto con 245 kg/hab, Loreto y Los Cabos se encuentran al final de la lista con valores de 194 kg/hab y 174 kg/hab, respectivamente. Así mismo la emisión per cápita estatal es de 274 kg/hab, esto quiere decir que tanto **Comondú, así como La Paz se encuentran por encima del promedio estatal en un 62% y 26%, respectivamente.**

Figura 24 Emisiones criterio estatales per cápita estales en 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2019)

Figura 25 Emisiones criterio municipales per cápita en B.C.S. en el 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2019)
*El gráfico es solo ilustrativo

2.3.5.2 Emisiones de GEI

En el año 2015 México emitió 683 millones de toneladas de gases de efecto invernadero. Del total de las emisiones, **24.1%** corresponden a las industrias de la energía, es decir, a la generación de energía eléctrica, refinación de petróleo, manufactura de combustibles sólidos y algunas otras industrias. A su vez, las **centrales de combustión interna fueron responsables del 0.2% de las emisiones totales**, lo cual equivale a **1,366,000 toneladas de gases de efecto invernadero**, por otra parte, las centrales térmicas convencionales fueron responsables del 3.8% de las emisiones totales (INEEC,2018).

Con base a las cedulas de operación anual de 2018 de las centrales de Combustión Interna CCI B.C.S. y la Central Termoeléctrica Punta Prieta, y siguiendo los procedimientos de cálculos de emisiones del IPCC de 2016, se realizó la estimación de gases de efecto invernadero para dichas centrales y se compararon los resultados con respecto al inventario nacional de 2015. La Tabla 12 muestra los resultados de los cálculos y de las comparaciones. La Central Termoeléctrica Punta Prieta se cataloga como Térmica Convencional, por tanto, se realizó la comparación en dicha categoría. Las emisiones totales obtenidas para Punta Prieta en 2018 fueron de 476,000 toneladas de CO2 equivalente, lo cual representa el 1.83% de las emisiones totales de la categoría Térmica Convencional de 2015 y representa el 0.07% de las emisiones totales en México. Por otra parte, la **Central CCI B.C.S. emitió 1,366,000.00 toneladas de CO2 equivalente, lo cual representa el 98.9% de las emisiones de la categoría de Combustión Interna y el 0.19% de las emisiones totales en México.**

Tabla 12 Comparativas emisiones de gases de efecto invernadero

Fuente	Nacionales - 2015 (toneladas)	La Paz - 2018 (toneladas)	Porcentaje
Térmica Convencional	25,954,000.00	476,000.00	1.83%
Combustión Interna	1,366,000.00	1,351,000.00	98.9%

Es notable que la **emisión de GEI por la central CCI B.C.S. en 2018 casi representa el 100% de las emisiones de GEI en el año 2015** de la categoría de Combustión Interna. Esto es debido a que en el país las centrales de Combustión Interna de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) más importantes se encuentran en el estado de B.C.S. (ver Figura 26). Por tanto, al hablar de categoría de Combustión Interna, se puede deducir que realmente se habla de las centrales eléctricas de B.C.S.

Figura 26 Principales centrales eléctricas en 2017 CFE y PIE

Fuente: Mapa obtenido de (CENACE, 2018).

2.3.5.3 Sistemas de control de emisiones

Una de las medidas de mitigación para una generación de electricidad tan contaminante, son la implementación de los sistemas de control de emisiones, como lo vimos anteriormente en la medida 3 de reducción de emisiones plasmadas en los NDC México se compromete a **controlar las partículas negras de hollín en equipos e instalaciones industriales. Adicionalmente en las manifestaciones de impacto ambiental de las unidades de la Central CCI BCS menciona la necesidad de contar con estos sistemas de control de emisiones, además del uso de combustóleo bajo en azufre de 1% es por eso que es necesario saber ¿qué son y cómo funcionan?**

NOx: Sistema SCR

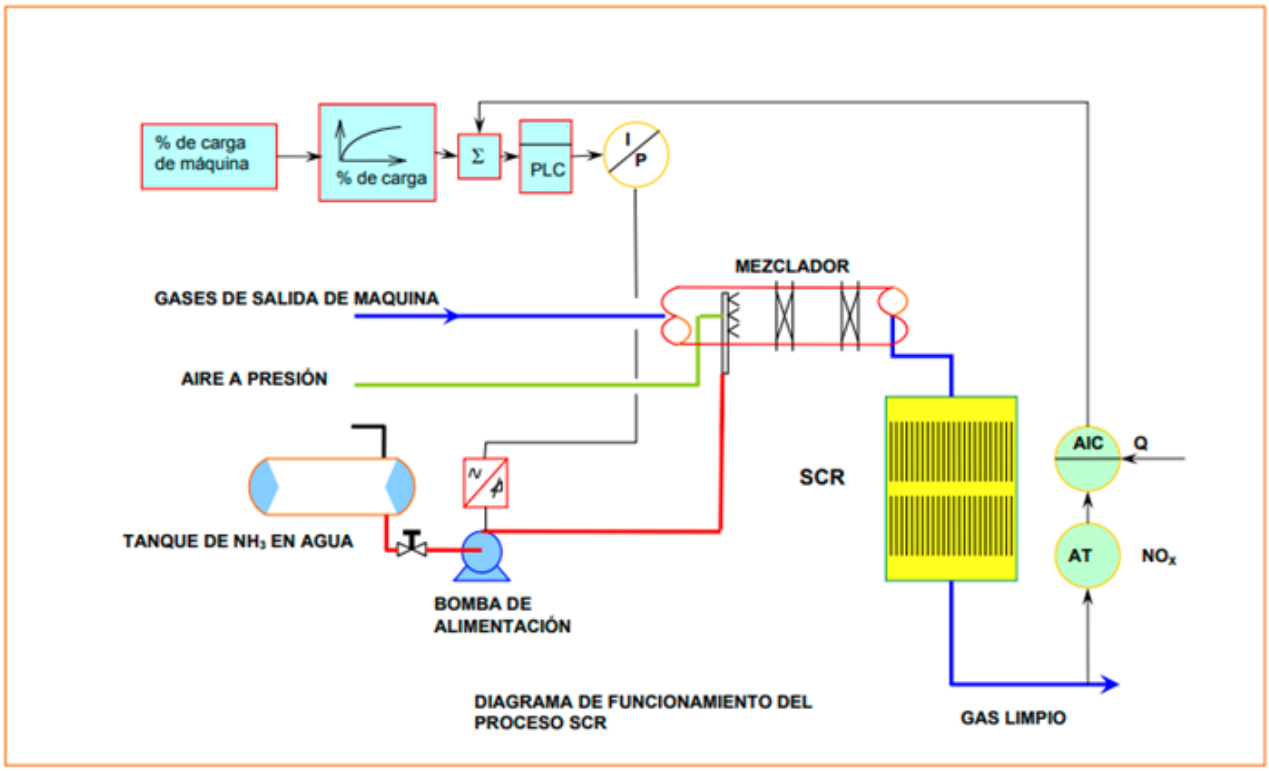
Para la eliminación de los NOx, los cuales son generados por el nitrógeno presente en el aire utilizado para a combustión, el sistema SCR (Selective Catalitic Removal) es la tecnología as viable. Este sistema químico consiste en inyectar un agente reductor (amoniaco) a los gases de combustión, una vez mezclados, estos son pasados a un catalizador a una temperatura 300-420 °C. en las condiciones indicadas los óxidos de nitrógeno son convertidos en nitrógeno molecular y agua por la siguiente reacción (CIBNOR, 2008).

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \longrightarrow 4N_2 + 6H_2O$$

$$6NO_2 + 8NH_3 \longrightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

El volumen del catalizador y por consecuencia el tamaño del reactor SCR dependen de la actividad del catalizador mismo, del nivel de reducción deseado de los NOx y de la cantidad de amoniaco no reaccionado dentro de un nivel aceptable (5-15 ppm) (CIBNOR, 2008).

Figura 27 Diagrama del sistema SCR considerado para la 236 CCI Baja California Sur



Fuente: Manifestación de impacto ambiental para 236 CCI B.C.S.

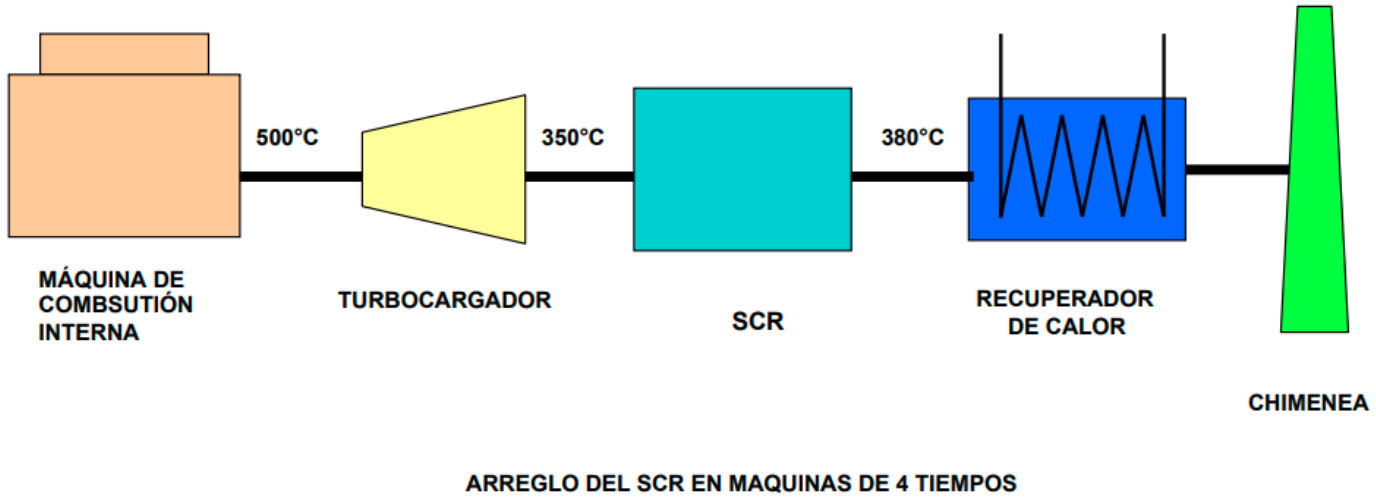
El sistema SCR descrito en la Figura 27 considera una solución acuosa de amoniaco del 25%, el cual se almacenará en un tanque de acero al carbón, una solución precisa de solución será enviada a los gases de combustión para que se mezclen y se libere el amoniaco necesario para llevar a cabo la reacción de reducción en el catalizador. La inyección precisa de amoniaco será determinada con instrumentación que permita saber la carga de la máquina de combustión interna, la concentración de NOx a la entrada y salida del reactor SCR, con lo que se determinará la tasa de inyección adecuada del reactivo mediante una bomba de dosificación variable (CIBNOR, 2008).

El sistema SCR se puede instalar para máquinas de combustión interna tanto de cuatro como de dos tiempos, procurando que cumplan con la temperatura de operación (300-420°C), esto permite instalar el reactor SCR antes o después del turbocargador (CIBNOR, 2008).

Por razones de seguridad, la inyección del amoniaco y por lo tanto la funcionalidad del reactor SCR solo se llevará a cabo si se cumplen las siguientes funciones:

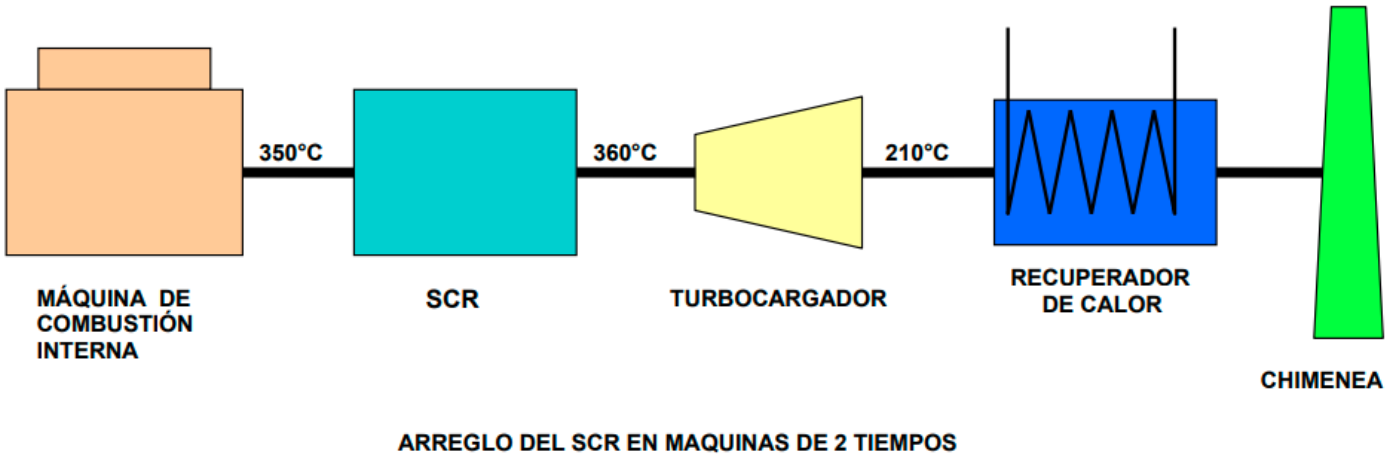
1. La temperatura se encuentra dentro del rango de operación antes mencionado
2. La máquina de combustión se encuentra operando
3. La bomba de dosificación de solución acuosa de amoniaco se encuentra en condiciones óptimas
4. La presión de aire comprimido para las operaciones de limpieza del reactor se encuentra dentro del rango especificados

Figura 28 Arreglo del sistema SCR para máquinas de 4 tiempos (después del turbocargador)



Fuente: Manifestación de impacto ambiental para 236 CCI B.C.S.

Figura 29 Arreglo de sistema SCR para máquinas de dos tiempos (antes del turbocargador)



Fuente: Manifestación de impacto ambiental para 236 CCI B.C.S.

Para la operación específica de la 236 CCI B.C.S., se estima un consumo de la solución de amoniaco al 25% de 374.4 g/s, esto implica la necesidad de un tanque de almacenamiento de al menos 420 m3 para al menos 30 días.

PM: precipitador electrostático

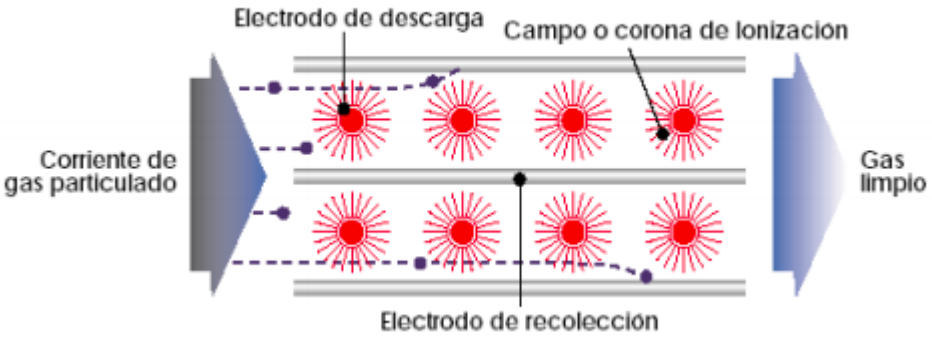
Un precipitador electrostático es un dispositivo de control de emisiones diseñado para atrapar y remover el material particulado proveniente de los gases de combustión, este sistema utiliza las fuerzas eléctricas para remover material menor a 20 micras. Los precipitadores electrostáticos se utilizan en industrias con procesos con índices altos de emisiones como las plantas de generación eléctrica, cementeras, plantas químicas, metalúrgica, industria papelera, entre otros (Morales, 2008).

Los precipitadores electrostáticos remueven el material particulado del efluente de la combustión mediante los siguientes procesos secuenciales:

- **Ionización:** cargado de las partículas
- **Migración:** transporte de las partículas cargadas sobre la superficie
- **Recolección:** precipitación de las partículas cargadas sobre la superficie recolectora
- **Disipación de la carga:** neutralización de las partículas sobre la superficie recolectora
- **Desalojo:** transporte de las partículas de la superficie colectora al recipiente acumulador
- **Transporte:** de las partículas del recipiente acumulador el punto de desecho

Un alto voltaje de 45000 a 70000 VDC se mantiene entre un electrodo que baja por el centro de un ducto y la pared externa de éste es conectada a tierra. El electrodo se mantiene a un potencial negativo respecto de las paredes y así el campo eléctrico está dirigido hacia el electrodo. El campo eléctrico del electrodo alcanza valores lo suficientemente altos como para como para provocar una corona de descarga sobre él, y el efluente particulado adquiere una carga negativa y se ioniza, cuando pasa por las placas, el material particulado se adhiere por atracción a la carga positiva de ellas, el ducto es sacudido periódicamente provocando que el material particulado caiga y se deposite en el fondo en tolvas de recolección (Morales, 2008).

Figura 30 Funcionamiento principal de precipitador electrostático



Fuente: Estudio Ambiental, Técnico y Económico de la Utilización y Aprovechamiento de Precipitadores Electrostáticos, en Planta de Generación Arizona

En los precipitadores electrostáticos de funcionamiento seco, el material particulado cae por gravedad, con ayuda de sacudidas periódicas, mientras que, en los precipitadores de funcionamiento húmedo, el material particulado se obliga a caer mediante un chorro de agua. **Los precipitadores electrostáticos son capaces de eliminar hasta el 99.9% de cenizas y material particulado a la salida del gas** (Morales, 2008).

Existen diferentes tipos de precipitadores electrostáticos, utilizados según las necesidades o capacidades de los procesos o industrias, estos son los precipitadores más utilizados actualmente:

- Precipitadores electrostáticos en húmedo tipo placa-electrodo
- Precipitadores electrostáticos en húmedo tipo tubo-electrodo
- Precipitadores electrostáticos en seco tipo placa-electrodo
- Precipitadores electrostáticos en seco tipo tubo-electrodo
- Precipitadores electrostáticos de placa plana

Los precipitadores electrostáticos más utilizados en la industria de la generación de energía eléctrica son los precipitadores en seco tipo placa-electrodo, estos precipitadores son capaces de remover material particulado mayor a 2.5 µm. Estos precipitadores capturan las partículas del gas a través de fuerzas electrostáticas, estas partículas se cargan negativamente y son posteriormente atraídas por las cargas positivas de las placas, las partículas se retiran después mediante "golpes secos" y se depositan en una tolva ubicada en la parte inferior del precipitador. En los precipitadores tipo placa, el gas fluye horizontalmente y paralelo a las placas metálicas verticales (Morales, 2008).

SO2: sistemas de lavado cal/caliza

Los procesos de tratamiento para el azufre se dividen en 3 categorías, dependiendo de su ubicación en el proceso de combustión, hay procesos precombustión que abarcan procesos físicos como el simple lavado que elimina los compuestos más solubles como los sulfatos, también posee procesos químicos donde se eliminan los compuestos orgánicos azufrados, los procesos durante la combustión utilizan principalmente lechos fluidizados donde se queman partículas de carbón en un lecho móvil formado por partículas finas de dolomita o carbonato de calcio y el SO2 es retenido junto con la escoria como sulfato, los procesos postcombustión, también llamados procesos de desulfuración postcombustión están normalmente basados en la absorción ácido-base sobre materiales ya sean húmedos o secos (Alvarez, 2000).

La desulfuración de los gases postcombustión se ha convertido en la vía más utilizada para eliminar el SO2 de las emisiones, este proceso existe en dos vertientes, lavadores de vía húmeda y sistemas de secado, sin embargo, los lavadores de vía húmeda son los más utilizados y tienen menos restricciones como el tamaño de las calderas o el contenido de azufre (Ferrer, 2010).

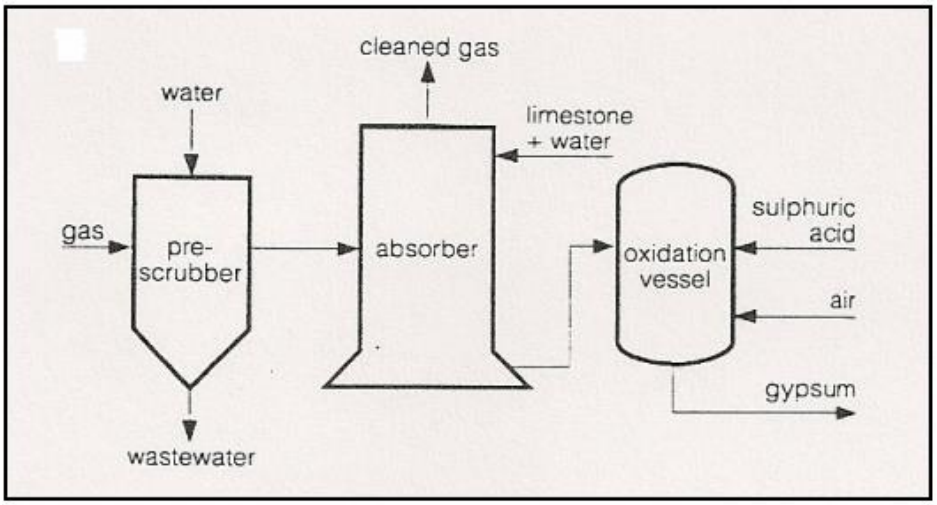
Lavadores de vía húmeda

Los gases son direccionados a un absorbedor donde el SO2 es eliminado por contacto directo con una solución acuosa de caliza, posterior al tratamiento son pasados por un eliminador de nieblas y emitidos a la atmósfera. La especificación viene dada por las reacciones químicas, el pH del reactivo y los subproductos obtenidos, las reacciones seguidas de forma natural son:

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

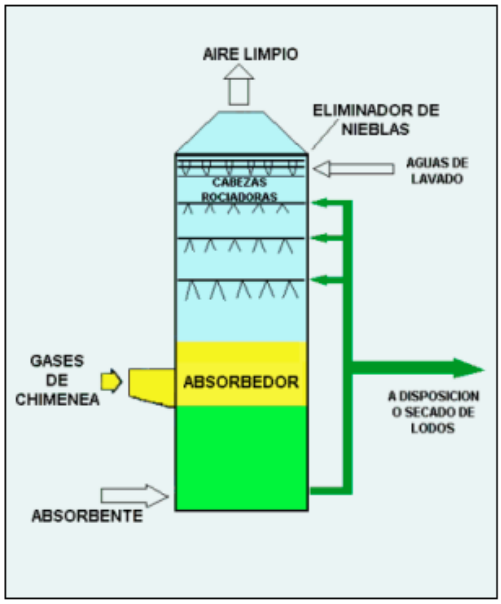
$$CaCO_3 + H_2SO_3 \rightarrow CaSO_3 + CO_2 + H_2O$$

Figura 31 Sistema típico de lavadores de caliza de vía húmeda



Fuente: Eliminación de NOx Y SO2 Mediante Materiales Zeolíticos Preparados a Partir de Cenizas Volantes.

Figura 32 Sistemas más actualizados de lavadores de caliza en vía húmeda



Fuente: Eliminación de NOx Y SO2 Mediante Materiales Zeolíticos Preparados a Partir de Cenizas Volantes.

Los 3 contaminantes considerados en las manifestaciones de impacto ambiental para las centrales de combustión interna son, el dióxido de azufre (SO2), el material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NOx), de ellos, solo existen en la central de combustión interna B.C.S. sistemas de reducción para los NOx, en las unidades 4 y 5, el sistema instalado, es el sistema SCR (Selective Catalitic removal) que se mencionó anteriormente, según el reporte de visita de inspección realizado por la PROFEPA en 2017 (de acuerdo a la información vía solicitud de transparencia número 613100113620-PROFEPA), se especifica que estos sistemas **no estaban en funcionamiento**, sin embargo, según la solicitud de información número 1816400031521, realizada por CERCA, en donde se solicitan las actas o cédulas de inspección de este sistema, en su respuesta indica que la central de combustión interna B.C.S. **no ha sido sujeta a ninguna inspección por parte de autoridad alguna**, por lo que actualmente no existe información acerca del estado de estos sistemas. Por otro lado, la central termoeléctrica Punta Prieta solo cuenta actualmente con un sistema de reducción de material particulado, un sistema de precipitación electrostática. Cabe destacar que los sistemas de control de emisiones que se encuentran instalados en las plantas de generación no cumplen la función de la eliminación total de las emisiones, sino, la reducción de estos a un valor que no supere lo normado, las plantas deberían de contar con un sistema de control de emisiones que sea capaz de reducir cada uno de estos contaminantes a un valor mínimo**, los sistemas mencionados anteriormente son los sistemas más efectivos para la eliminación de los contaminantes principales que se encuentran en las emisiones de las plantas de generación eléctrica.**

2.3.6 Crecimiento del sector energético

2.3.6.1 Proyectos en generación fósil y limitantes a energías renovables

El sector energético en el estado y en la ciudad de La Paz se encuentra en constante expansión y se basa exclusivamente en combustibles fósiles de acuerdo a los proyectos presentados y ejecutados por la CFE, donde los proyectos enfocados en la transición a fuentes renovables, así como acciones para la eficiencia energética quedan en rezago a pesar de que son necesarias para la mitigación del cambio climático. Esto parece confirmarse con **la solicitud de transparencia con No. De folio 1120500001121 realizada a CENACE. En donde se confirma que no hay solicitudes de sistemas renovables en espera de interconexión al sistema eléctrico B.C.S., y que no habrá solicitudes hasta que dicho sistema cuente con las condiciones favorables para hacerlo, una vez que el sistema cuente con las condiciones necesarias CENACE en colaboración con la Comisión Reguladora de Energía (CRE) desarrollaran una estrategia para reanudar las solicitudes y la aceptación de la interconexión de más centrales eléctricas renovables en el estado (CENACE,2020a).**

Por otro lado, durante el 2020 la CFE tomó la decisión de instalar nuevas unidades Aeroderivadas móviles (turbo-gases) para ayudar a satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica y evitar interrupciones como las ocurridas en el verano de 2019 conocidas como "apagones", la Figura 33 muestra algunos de los planes para B.C.S., de los cuales solo uno se encuentra en estatus cancelado la licitación para el proyecto 4. Como nota adicional debemos mencionar que la cancelación de la licitación del proyecto CCI VI no significa que el proyecto se haya cancelado de manera permanente.

Figura 33 Planes de CFE para B.C.S. (2020-2022)

Fuente: Elaboración propia con datos de (CFE, 2019a)

La Tabla 13 muestra la potencia total instalada por tipo de tecnología en el municipio de La Paz en los años 2020 y 2021, donde los combustibles fósiles representan la principal fuente para la generación eléctrica y tan

solo el **9.37% de la potencia instalada en el sistema B.C.S. es energía solar**, para ver la composición de la potencia de acuerdo a la tecnología en 2020 y 2021 en La Paz, ir al anexo de energía.

Tabla 13 Potencia instalada por tecnología en La Paz (2019-2020)

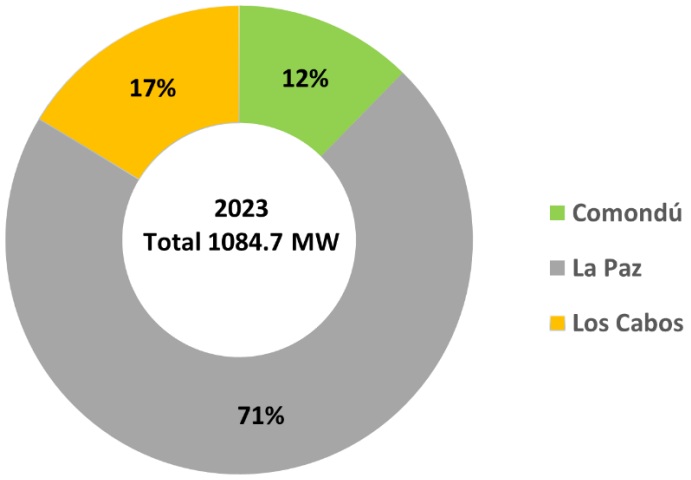
Tipo de tecnología	Potencia Instalada 2020	Potencia Instalada 2021
Combustión interna	235.6 MW	235.6 MW
Vapor	112.5 MW	112.5 MW
Turbo Gas	43 MW	230 MW
Solar Fotovoltaica	55 MW	55 MW

Fuente: Elaboración propia con datos de (CENACE, 2020a) y (CFE, 2021b).

En 2020 la potencia total instalada en el sistema eléctrico B.C.S. fue correspondiente a 757.8 MW, el **59% de esta potencia se encontraba instalada en el municipio de La Paz**, en los municipios de Los Cabos y Comondú se encontraba el 23% y 18% respectivamente (ver Anexo 6). Para inicios de 2021 la potencia total fue de **944.8 MW, es decir, hubo un incremento de 187 MW totales** que solo se instalaron en el municipio de La Paz (CFE, 2021b), por tanto, este municipio pasó de representar el 59% de la potencia en 2020 a ser el **67% en 2021,** por su parte Los Cabos y Comondú contaban con una capacidad instalada de 19% y 14%, respectivamente. (ver Anexos).

Con el plan a futuro de la Comisión Federal de Electricidad de la instalación de una central de ciclo Combinado en la Central Punta Prieta de 327 MW (CFE, 2021b), se espera que para 2023 la potencia total instalada sea de **1084.8 MW**, en la Figura 34 se observa el porcentaje de dicha potencia por municipio al año 2023, **un crecimiento en 4 años de más del 50% de la potencia instalada, comportamiento atípico de los sistemas eléctricos nacionales e internacionales.**

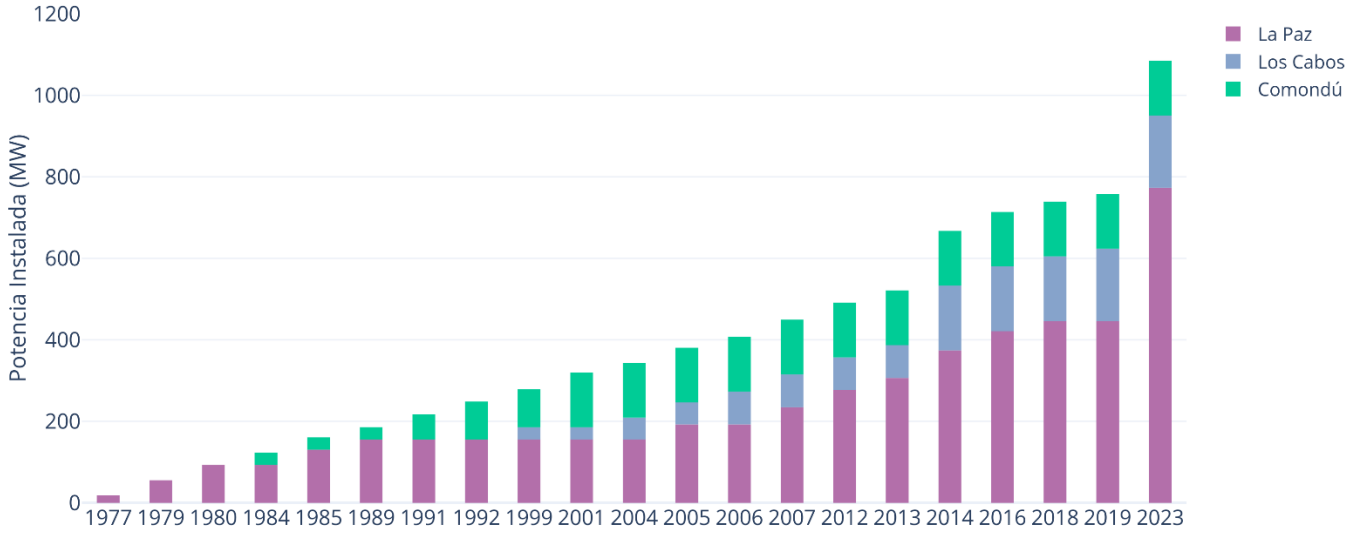
Figura 34. Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. a 2023



*No considera potencia instalada de fuentes renovables (Aura Solar y Parque Eólico Coromuel)

Por su parte la Figura 35. Muestra la evolución histórica de la potencia instalada en el sistema eléctrico B.C.S., desde **1977 que corresponde a la instalación de una pequeña turbogás en Punta Prieta de 18 MW** hasta los planes a futuro al año 2023 como lo es la construcción de una central de Ciclo Combinado con una potencia de 327 MW (CFE, 2021b).

Figura 35 Evolución histórica de la potencia instalada en el sistema eléctrico B.C.S.



Fuente: Elaboración propia con datos de (CENACE, 2020a).

En esta figura se puede apreciar que el crecimiento de l**a potencia instalada sigue centrado en el municipio de La Paz, a pesar de que el consumo no se encuentra en su mayoría en este municipio.** Los planes de generación de la CFE **siguen tomando a La Paz como el corazón energético del sistema eléctrico BCS**, esta decisión sin tomar en cuenta la opinión de la población y sobre todo el comportamiento y las consecuencias sinérgicas de la capacidad instalada anterior en conjunción con la planeada.

2.3.6.2 Proyectos de ampliación en la Red de transmisión de B.C.S.

Otro de los puntos importantes a analizar es la capacidad instalada en transmisión en el estado, principalmente porque al concentrar la generación en el municipio de La Paz será necesario distribuirla de manera eficiente, es por eso que en este reporte se incluye una revisión de los proyectos planeados para Baja California Sur en el área de Transmisión.

Las propuestas de proyectos de ampliación en la Red Nacional de Transmisión (RNT) se realizan con los siguientes objetivos (SENER, 2021):

1. Satisfacer el suministro en la demanda de energía eléctrica.
2. Preservar y mejorar la Confiabilidad del SEN (Sistema Eléctrico Nacional).
3. Reducir costes en el suministro eléctrico
4. Contribuir en el cumplimiento de las metas de generación de Energía Limpia, asegurando la confiabilidad en condiciones de viabilidad económica.
5. Operar con eficiencia energética, reduciendo las congestiones en las redes de transmisión y las pérdidas de energía eléctrica.
6. Incorporar tecnologías de Redes Eléctricas Inteligentes.

Hecha esta salvedad, la Tabla 14 muestra los 3 proyectos identificados de ampliación en las redes de transmisión por CENACE para Baja California Sur. Posteriormente, en los siguientes cuadros (Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17) se detallará cada uno de los proyectos.

Tabla 14 Proyectos de ampliación en las redes de transmisión en B.C.S. identificados en el PAMRNT (2020-2034)

Gerencia de Control Regional	PEM	Nombre del proyecto	Fecha Necesaria	Atiende problemáticas de suministro de energía eléctrica en Zona o GCR/Estado
Baja California Sur	P20-BS1	Compensación Capacitiva en zona Los Cabos.	Abr-23	Los Cabos/Baja California Sur
	P20-BS2	Incremento en la capacidad de transformación en zona los Cabos.	Abr-24	Los Cabos/Baja California Sur
	P20-BS3	Solución integral al suministro de energía eléctrica de la zona constitución.	Abr-24	Constitución/Baja California Sur

Fuente: Elaboración propia con información de (SENER, 2021).

Tabla 15 Incremento Compensación Capacitiva en la Zona Los Cabos

P20-BS1	**Incremento Compensación Capacitiva en la Zona Los Cabos**
Beneficios del Proyecto	
En el corredor eléctrico de 115 kV entre las zonas La Paz y Los Cabos se presenta una problemática en la regulación de tensión, lo que conlleva a tener voltajes por debajo de los límites operativos establecidos. Se espera que con la implementación de este proyecto se atiendan dichos problemas de estabilidad en el voltaje y se obtengan beneficios como reducción de costos en producción, en pérdidas eléctricas por efecto joule (costos operativos), reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero), mejorar confiabilidad y atender la creciente demanda y consumo de energía eléctrica de la región.	
Fecha Factible de Entrada en Operación	
Abril 2024	
Área de Influencia del Proyecto	
San José del Cabo y Santiago y Buenavista, Baja California Sur	

Fuente: Elaboración propia con información de (SENER, 2021).

Tabla 16 Incremento en la capacidad de transformación en Zona Los Cabos

P20-BS2	**Incremento en la capacidad de transformación en Zona Los Cabos**
Beneficios del Proyecto	
Al existir una problemática de saturación eléctrica de la infraestructura de transformación en la zona de carga Los Cabos, Se propone nuevos equipamientos en las subestaciones eléctricas de Libramiento San José y Monte Real. Obteniendo beneficios como reducción de costos en producción, en perdidas eléctricas por efecto joule (costos operativos), reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero), mejorar confiabilidad y atender la creciente demanda y consumo de energía eléctrica de la región.	
Fecha Factible de Entrada en Operación	
Abril 2024	
Área de Influencia del Proyecto	
San José del Cabo y Cabo San Lucas, Baja California Sur	

Fuente: Elaboración propia con información de (SENER, 2021).

Tabla 17 Solución integral al suministro de energía eléctrica de la Zona Constitución

P20-BS1	**Solución integral al suministro de energía eléctrica de la Zona Constitución**
Beneficios del Proyecto	
Ante el nuevo proyecto de generación eléctrica llamado Central Ciclo Combinado Baja California Sur que consiste en el cambio de tecnología de unidades de combustión interna a base de combustibles como el combustóleo y diésel a unidades de ciclo combinado a base de gas natural, se espera que las unidades que se encuentran en la Central eléctrica General Agustín Olachea (en Cd. Constitución) disminuyan su generación de energía eléctrica base al mínimo requerido. Haciendo la posibilidad de que el Suministro Eléctrico de la zona Constitución provenga desde la zona La Paz. voltaje y se obtengan beneficios como reducción de costos en producción, en perdidas eléctricas por efecto joule (costos operativos), reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero), mejorar confiabilidad y atender la creciente demanda y consumo de energía eléctrica de la región.	
Fecha Factible de Entrada en Operación	
Abril 2024	
Área de Influencia del Proyecto	
Ciudad Constitución, Insurgentes y Loreto, Baja California Sur	

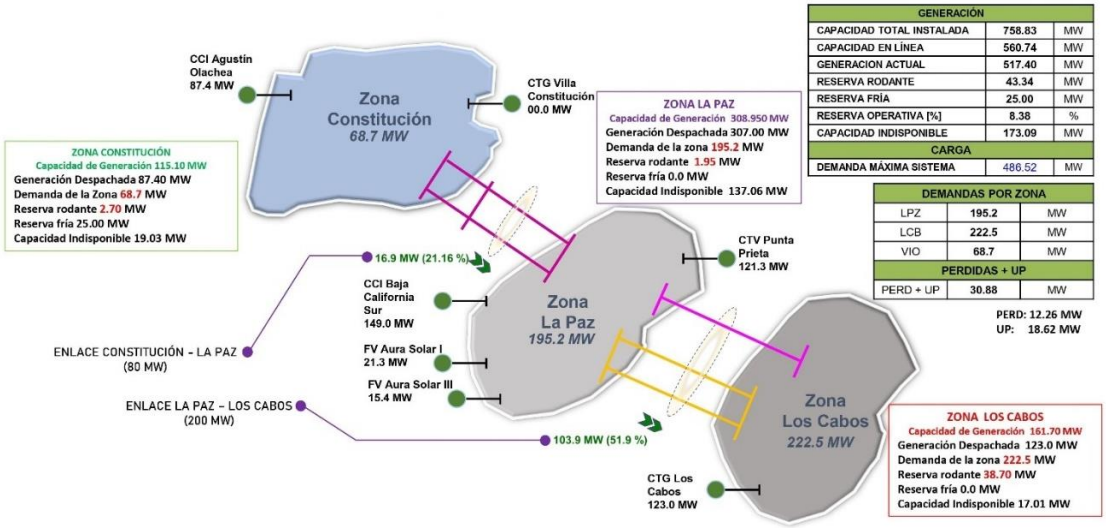
Fuente: Elaboración propia con información de (SENER, 2021).

2.3.7 Flujos de potencia

Los sistemas eléctricos de potencia son aquellos que se encargan del manejo, conversión y transporte de la energía eléctrica principalmente en su forma de corriente alterna. En primera instancia se encuentra la generación de la energía sea cual sea el tipo de central (Combustión Interna, Nuclear, Solar FV etc.) Posteriormente, se establece la interconexión entre las centrales de generación y la carga de los clientes mediante las redes de transmisión, con equipos como los transformadores y estructuras que poseen variantes factores, los cuales pueden ser económicos, geográficos, políticos y ambientales. Para realizar el estudio de un sistema eléctrico de potencia debe llevarse a cabo la modelización del mismo, la cual conlleva el estudio de su comportamiento tanto de sus componentes por separado, así como en conjunto (totalidad del sistema). El estudio de los Sistemas Eléctricos de Potencia ayuda en el proceso de la toma de decisiones importantes, como lo es la ampliación y modernización del sistema eléctrico debido al aumento de la demanda eléctrica derivada del crecimiento poblacional de las zonas demandantes (Vásquez & Reyes, 2017).

En la Figura 36 se muestra el diagrama de flujo de potencia en el SEB.C.S. el día 12 de agosto del 2020 a las 16:49 Horas. El diagrama, en primera instancia muestra la zona de carga Constitución, la cual demandaba una potencia eléctrica correspondiente a 68.7 MW, sin embargo, dicha zona tenía una generación despachada de 87.40 MW generadas en su totalidad por la Central de combustión interna Agustín Olachea, esta diferencia de 18.7 MW menos las pérdidas eléctricas resultan en un valor de 16.9 MW los cuales se enviaban a zona de carga La Paz, es decir, Zona Constitución transportaba el 21.16 % de su demanda a zona La Paz. Por su parte, Zona La Paz tenía una demanda de 195.2 MW con una generación de 307 MW, mientras que Zona Los Cabos tenía una demanda de 222.5 MW y sólo una generación despachada de 123 MW, es decir que, **zona La Paz transportó a Los Cabos el 51.9% (103.9 MW) de su demanda eléctrica.**

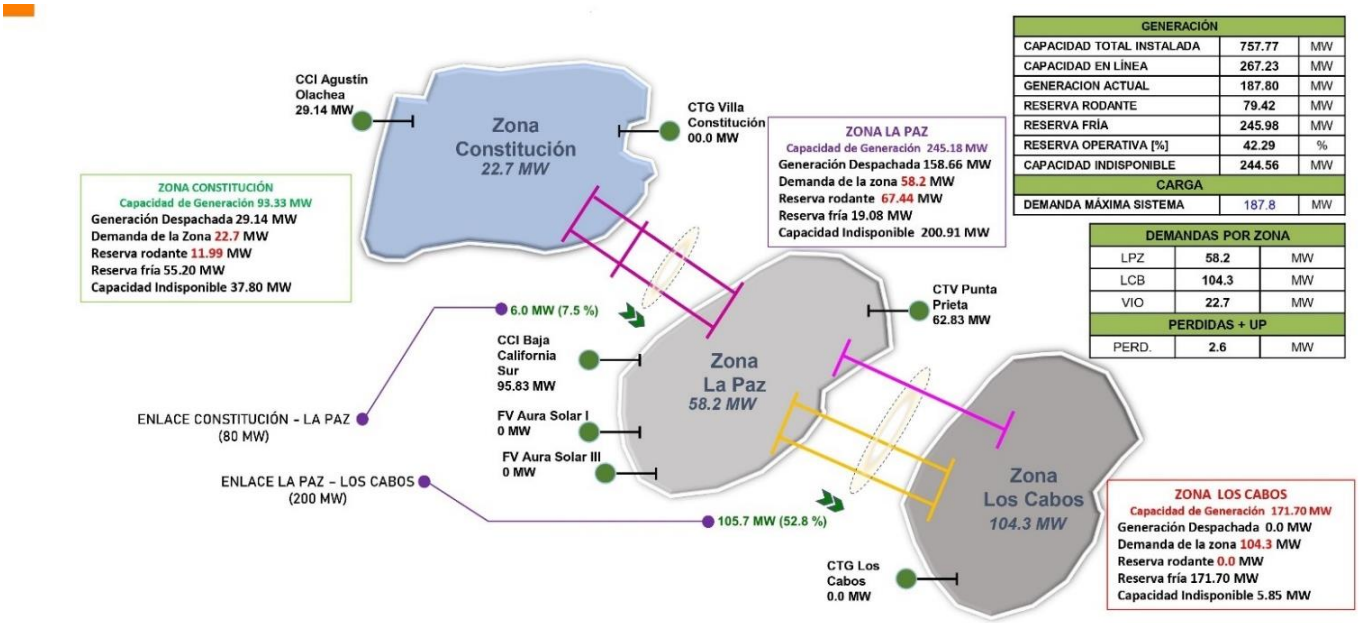
Figura 36 Escenario demanda máxima de verano, ocurrida el 12 de agosto del 2020 16:49 Horas



Fuente: Imagen obtenida de (CENACE, 2021c)

En la Figura 37 se muestra el diagrama de flujo de potencia en el SEB.C.S. para el día 2 de enero del 2020 a las 03:29 Horas. El diagrama muestra primeramente la zona de carga Constitución, la cual demandaba una potencia eléctrica correspondiente a 22.7 MW, sin embargo, dicha zona tenía una generación despachada de 29.14 MW generadas en su totalidad por la Central de combustión interna Agustín Olachea, esta diferencia de 6.44 MW menos las pérdidas eléctricas resultan en un valor de 6 MW los cuales se enviaban a zona de carga La Paz, es decir, Zona Constitución transportó el 7.5 % de su demanda a zona La Paz. Por su parte, Zona La Paz tenía una demanda de 58.2 MW con una generación de 158.66 MW, es decir, Zona La Paz solo consumió el 37% de su generación, esto es debió a que Zona Los Cabos tenía una demanda de 104.3 MW y tenía una generación de valor 0, es por tanto que zona **La Paz transportó a Los Cabos el 52.8% (105.7 MW) de su demanda eléctrica.** Esto es un claro ejemplo (al igual que el diagrama en la Figura 24) donde se muestra que Zona **Los Cabos es la principal zona demandante de energía y Zona La Paz es la principal zona generadora de la misma.**

Figura 37 Escenario demanda mínima de invierno, ocurrida el 2 de enero del 2020 03:29 Horas



Fuente: Imagen obtenida de (CENACE, 2021c).

2.4 Discusión

El sistema Baja California Sur (SBS) es donde se generan la mayor cantidad de emisiones en Baja California Sur, el corazón energético de este sistema es La Paz con un 72% de la generación que es distribuida entre los 4 municipios que lo conforman. La Paz concentra la mayor capacidad instalada para generar electricidad, los planes de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para 2023 siguen centrados en crecer la capacidad instalada en el municipio de La Paz; en 4 años duplicaremos la capacidad instalada que tardó 40 años en implementarse en el sistema eléctrico BCS, a pesar de la gran cantidad de emisiones que se generan diariamente a la atmósfera. A nivel nacional se generan 27,012,673 toneladas de las cuales 9% corresponden a fuentes fijas, en cambio en Baja California Sur de las 202,018 toneladas 34% corresponden a las fuentes fijas, es decir la gran diferencia en emisiones por fuentes fijas comparado con el indicador nacional está directamente relacionado con la generación de electricidad.

Al revisar estas mismas **cifras para La Paz, nos damos cuenta que las fuentes fijas otorgan 43% de las emisiones totales**, a pesar de esto la posibilidad de acceder a los beneficios de la generación distribuida son un derecho negado para los habitantes de Baja California Sur, en particular los habitantes del municipio de La Paz.

Es decir, hay una clara **carga de emisiones en fuentes fijas que está absorbiendo el municipio de La Paz** y no se está llevando a cabo ninguna medida de mitigación correspondiente a disminuir el impacto de todas las externalidades que provocan estos procesos. Otra de las afectaciones de contar con una capacidad instalada obsoleta y centrada en el mismo tipo de tecnología fósil, es que además somos dependientes de combustibles foráneos, esto tiene como consecuencia que cualquier falla en el suministro de combustibles derive en cortes en el suministro de electricidad a la población de Baja California Sur. En 2019 estos cortes en el suministro alcanzaron también a los usuarios de La Paz, a pesar de ser el municipio que genera más del **70% de la electricidad**, los habitantes de La Paz también se quedaron sin electricidad, en cortes intermitentes durante al menos 4 meses y estuvieron expuestos a 81 apagones de electricidad.

Por otro lado, la falta de equilibrio entre los sectores de generación y consumo refleja que La Paz necesita generar electricidad principalmente para abastecer la tarifa residencial, en 2020 en este rubro se concentró la mayor parte del consumo. Es decir, la dinámica económica obliga a una mayor generación que debe distribuirse entre los municipios que más consumen electricidad. Desafortunadamente no existen estímulos en donde se esté incentivando la inversión en energías renovables, y de esta manera se están dejando de lado las oportunidades que sector turismo podría estar implementando de manera coordinada, cada hotel podrá estar generando su propia electricidad aprovechando los beneficios de la región.

Las pocas opciones para disminuir la actual tarifa y la contaminación para los habitantes de La Paz, parecen dejar un camino cerrado para cambiar la actual regulación, a pesar de los instrumentos normativos y constitucionales que se nos otorgan debemos seguir con un sistema eléctrico con tecnología fósil, obsoleta, cara y contaminante lo cual a la larga tendrá altos costos en salud.

Pensar en que los sucesos del año 2019 fueron hechos aislados es un error, estos cortes al suministro fueron con antelación anunciados, un sistema obsoleto y cerrado a los avances tecnológicos terminará tarde o temprano colapsado. La inversión en un sistema eléctrico aislado debe ser visto como una oportunidad para trabajar en nueva regulación y para probar nuevas tecnologías bajo un paraguas de sustentabilidad y transición energética.

2.5 Conclusiones

La generación eléctrica en la ciudad de La Paz es una de las principales causas de los altos niveles de contaminación registrados. Gran parte de la problemática se deriva por **la baja calidad del combustóleo** que utilizan las dos centrales eléctricas, el cual se refleja en los altos contenidos de SO2 y NOx. Esta situación promueve la liberación de altos niveles de contaminación y, por ende, afecta a la población, el aire, el suelo y a la vida marina. Estudios en China han observado que tras la implementación de estrictas medidas de desulfuración y **sistemas de filtración más eficientes en centrales eléctricas han disminuido las altas concentraciones de SO2 y NOx a partir del 2011** (van der A et al., 2017). Estos ejemplos de medidas de mitigación probada en otros países nos acercan a tecnologías que pueden ser implementadas en las centrales eléctricas de La Paz para disminuir la contaminación. Siguiendo con estas medidas, el adoptar las recomendaciones mencionadas en las Manifestaciones de Impacto Ambiental de las unidades IV y V nos remonta a que de manera obligatoria la CFE debería estar usando **combustóleo bajo en azufre** en todas sus centrales, como se hace en otras partes del mundo.

La urgente respuesta de las autoridades ante esta problemática no puede hacerse de lado, principalmente en el municipio de La Paz, las externalidades de sus habitantes por los procesos de generación van en aumento. De acuerdo al Programa para la Mejora de la Calidad del Aire de Baja California Sur, la valoración económica de los costos en salud por solo un contaminante equivale a **1,668 millones de pesos y a 135 muertes evitables en el municipio de La Paz principalmente.**

Al ser el municipio de La Paz el que concentra la mayor capacidad instalada fósil, se debe privilegiar el acceso a la **generación distribuida para sus habitantes**, actualmente es la única manera de democratizar la energía y poder disminuir emisiones en el corto plazo. Es necesaria una seria revisión de los impactos sinérgicos de las emisiones y evitar en lo posible seguir creciendo la capacidad instalada fósil para generar electricidad. Durante el desarrollo del apartado de energía pudimos abordar **los costos de generación de electricidad y cómo estos influyen en las tarifas locales**, estas tarifas son las más altas del país, y los habitantes de La Paz no reciben algún beneficio como medida compensatoria de todas las externalidades tanto económicas como en suministro y en afectaciones a la salud a los que diariamente se exponen.

La **limitante a nuevas centrales de tecnologías renovables** ha derivado en que las personas no tengan opciones para generar electricidad desde sus casas e incluso poder garantizar su suministro o elegir otro proveedor diferente a CFE, adicional a esto los **costos de generación durante el periodo de apagones derivó en costos de generación de casi el doble** del promedio de otros años en ese mismo periodo. De acuerdo a los datos procesados en el presente reporte los habitantes de La Paz superamos el promedio nacional de emisiones per cápita, lo cual confirma que la contaminación por las centrales de generación de electricidad tiene un aporte de manera importante a las emisiones de SO2 y NOx, contaminantes que están relacionados con graves efectos en la salud en poblaciones expuestas.

Por último, cabe destacar que es preocupante que los proyectos de la CFE sigan adelante sin tomar en cuenta la opinión de los ciudadanos y sin valorar seriamente las repercusiones en los ecosistemas de la región. La deshabilitación de la central Agustín Olachea en 2023 presionará aún más la generación en el municipio de La Paz, por lo tanto, tendremos mayores niveles de emisiones de contaminantes que saldrán de forma cruda a la atmósfera debido a que los sistemas de control de emisiones requeridos en las Manifestaciones de Impacto Ambiental de las centrales **no están en operación** y no se está llevando a cabo un seguimiento puntual de los mismos por parte de la SEMARNAT y/o PROFEPA

Calidad del aire

3 Capítulo de Calidad del Aire 46

3.1 Introducción 46

3.2 Redes de monitoreo ciudadano 47

3.2.1 Monitoreo fijo 47

3.2.1.1 Resultados 48

3.2.2 Monitoreo móvil 51

3.3 Análisis técnico del monitoreo de casetas de CFE en La Paz, B.C.S. 54

3.3.1 Información general 54

3.3.2 Evaluación de límites permisibles 55

3.3.2.1 Estación 1 56

3.3.2.2 Estación 2 59

3.3.2.3 Estación 3 62

3.3.2.4 Medias anuales de PM10 65

3.3.3 Evaluación de ausencia de información 66

3.3.3.1 Estación 1 66

3.3.3.2 Estación 2 67

3.3.3.3 Estación 3 68

3.3.4 Series de tiempo anuales 69

3.3.5 Series de tiempo mensuales 73

3.3.6 Análisis de tendencia 77

3.3.7 Estudios oficiales 81

3.3.8 Discusión 83

3.3.9 Conclusión 84

3 Capítulo de Calidad del Aire

3.1 Introducción

La Organización Mundial de la Salud en 1999 definió la contaminación del aire como "sustancias depositadas por las actividades humanas con suficiente concentración como para causar influencias perjudiciales para la salud, la vegetación, el rendimiento de cultivos agrícolas, propiedades o interferir con el disfrute de las propiedades". Las sustancias naturales o artificiales que contaminan el medio ambiente se denominan contaminantes (Mukherjee, 2002). Debido a los efectos que la mala calidad del aire puede tener en la salud, se han creado sistemas de información que muestre el estado de la contaminación y así poder actuar de forma correctiva y/o preventiva.

De acuerdo con las estrategias planteadas en el Programa de Gestión para mejorar la Calidad del Aire del estado de B.C.S. 2018-2027 (PROAIRE) publicado en 2018, en la estrategia 6 "Fortalecimiento institucional" medida 16, manifiesta la necesidad de la implementación del sistema de monitoreo atmosférico, una de las principales causas son los altos costos en la salud proyectados en el mismo documento que representan un gasto asociado de $1,668 millones de pesos. Es por esto que CERCA en 2018 inicia la implementación de la primera parte de una red de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de La Paz B.C.S. Actualmente la red de monitoreo cuenta con 4 monitores, la necesidad del proyecto es cubrir 8 ubicaciones más, las cuales, van de acuerdo con la ruta de los contaminantes, incluyen los principales puntos de la ciudad. De esta manera se generan datos duros robustos y confiables sobre la calidad del aire que respiramos.

Con respecto a las emisiones de contaminantes, el inventario de emisiones (LT Consulting, 2017) registra un total de 455,925.8 t/a de las cuales 46,020.2 t/a corresponden a PM10, 9,443.3 t/a corresponden a PM2.5, 22,088.4 t/a corresponden a las emisiones de SO2, para el contaminante NOx se tiene un total de 57,702.3 t/a, para COV un total de 99,144.1 t/a y para el CO 218,031.3 t/a. (LT-Consulting, 2017). Con respecto a estos valores se calculó las emisiones per cápita donde para el contaminante PM10 se tiene un valor de 0.065 t/a per cápita, para el contaminante PM2.5 se tiene un total de 0.013 t/a per cápita, para el contaminante SO2 se tiene un valor de 0.031 t/a per cápita, para el contaminante NOx se tiene un valor de 0.081 t/a per cápita, y para el contaminante CO se tiene un valor de 0.306 t/a per cápita.

3.2 Redes de monitoreo ciudadano

3.2.1 Monitoreo fijo

En la Figura 38, se puede observar los 5 distintos puntos de monitoreo, cabe aclarar que para el monitor CERCA se cuenta con sólo un mes de datos y para la estación primaria Gustavo Díaz Ordaz se tiene sólo un sensor de SO2, con esto se toma en cuenta las 3 estaciones faltantes como principales.

Figura 38 Ubicación de puntos de monitoreo

Fuente: (CERCA, 2020)

La ubicación de las estaciones fijas se basa en un estudio presentado por CICIMAR (2012), con la colaboración de distintas instituciones como son las escuelas públicas y diversos puntos de interés donde se logró instalar y mantener funcionando las 4 estaciones de monitoreo. Cada estación envía datos por minuto, de ahí se toma inicio para el cálculo de los promedios horarios, móviles y diarios, cabe aclarar que se mantiene la recomendación de las NOMs que indica cumplir con un 75% de los datos para poder realizar alguno de sus promedios. Se realizó jornadas de mantenimiento preventivo y correctivo una vez por mes en cada una de las estaciones, por último, se utilizó cálculos de corrección errores por calibración y estadística aplicada en el procesamiento de datos. En la Figura 39 se muestran cuantos días al menos sobrepasaba la recomendación OMS clasificándose como día malo u cuando al menos un promedio sobrepasaba la NOM se clasificó como un día muy malo, esto sólo para cada uno de los contaminantes monitoreados en dónde se encontraron valores altos. (CERCA, 2020)

Figura 39 Días contaminados en La Paz, B.C.S.

3.2.1.1 Resultados

Con la información presentada en el Reporte técnico de concentración de contaminantes en la ciudad de La Paz, B.C.S. (CERCA, 2020) se confirma que los días contaminados en La Paz han crecido en 300% en concentración de azufre (SO_2) desde nuestras primeras mediciones en 2018, contaminante relacionado en un 92% con la generación de electricidad basada en combustóleo como principal insumo y con una concentración de más del 4% de azufre. Por otro lado, se aprecia de manera alarmantemente que no está contemplando ninguna media de mitigación para los proyectos contaminantes que actualmente ya está operando la Comisión Federal de Electricidad en el municipio de La Paz, B.C.S.

De igual manera en dicho reporte se puede observar la afectación a la ciudad por las emisiones de las centrales eléctricas mediante el modelo Hysplit que se corre de manera diaria para obtener datos de la ruta de la contaminación.

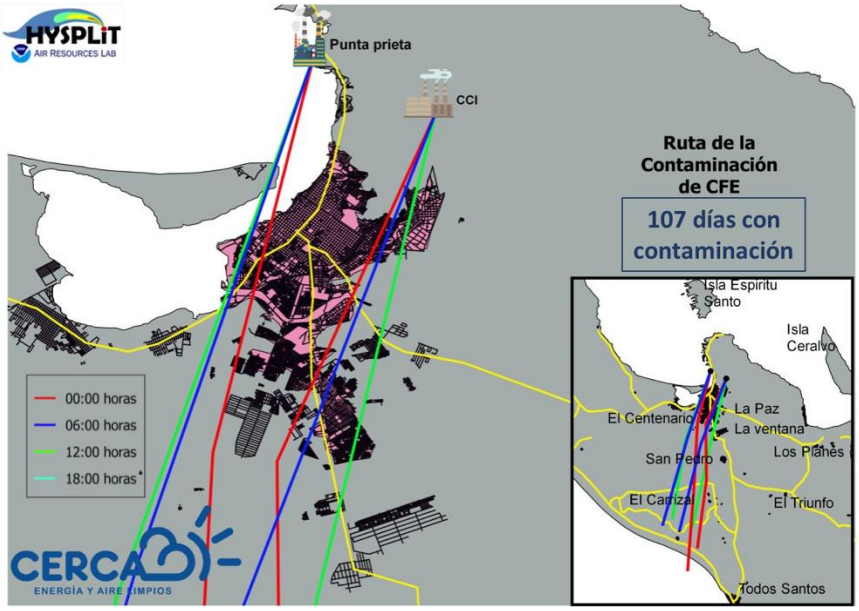
Tanto los monitoreos ciudadanos como los datos de las casetas de la Comisión Federal de Electricidad muestran una concentración superior a los límites permisibles de las Normas Oficiales de salud principalmente en NO_2, SO_2, PM_{10} y Ozono, lo que puede afectar de manera grave la salud de la población diariamente expuesta a estos niveles de contaminación.

A continuación, se muestra el calendario de días contaminados por al menos un contaminante en alguna estación:

Figura 40 Calendario CERCA días con contaminación en La Paz, B.C.S. 2019-2020

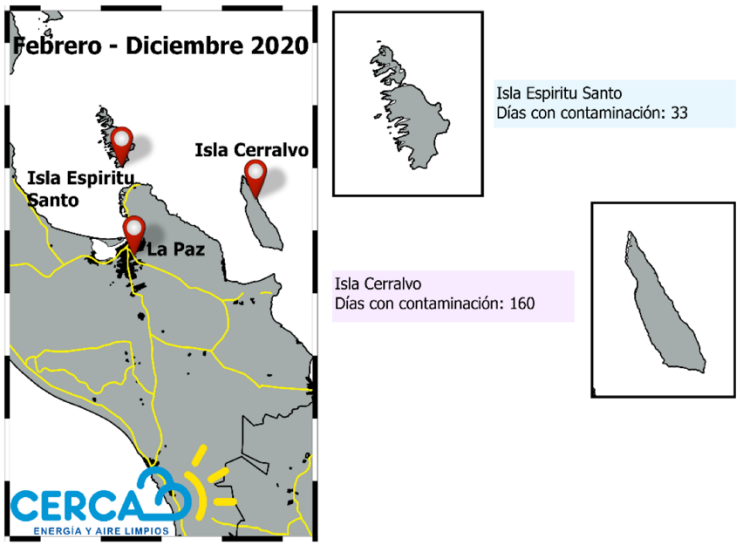
Por otro lado, cada semana se publica un GIF que, mediante un modelo matemático que muestra el comportamiento teórico diario de los contaminantes emitidos por las centrales de generación eléctrica sobre La Paz, en la Figura 41 se muestran también el número de días con contaminación en la ciudad.

Figura 41 Trayectoria de contaminantes emitidos por las centrales eléctricas sobre la ciudad de La Paz durante el 26 de julio de 2020



Asimismo, en la Figura 42 se muestran el número de días con contaminación en la Isla Espírito Santo, Isla Cerralvo de acuerdo a los datos recopilados de las estaciones de monitoreo del aire de febrero a diciembre del 2020.

Figura 42 Días contaminados en Isla Espíritu Santo, Isla Cerralvo a febrero a diciembre de 2020



Al considerar los datos recopilados de las estaciones de la Red de Monitoreo de CERCA, la población mayormente expuesta a las altas concentraciones de contaminantes por su ubicación se describe a continuación.

1. **Estación Primaria Gustavo Díaz Ordaz - Distancia a la CCI: 6.2 km**

   a. **Colonia principal: Márquez de León:** Viven aproximadamente 3,240 personas en 834 unidades habitacionales, es una de las colonias más pobladas de Baja California Sur. Se contabilizan 134 habitantes por km2, con una edad promedio de 11 años y una escolaridad promedio de 7 años cursados. La colonia se caracteriza por tener relativamente pocos establecimientos comerciales, y la mayoría de ellos operan en la actividad comercio minorista.

   b. Colonias aledañas: Granja Manuel Márquez de León, Vista Hermosa, Laguna Azul, Ampliación Lázaro Cárdenas

2. **Estación Preparatoria Morelos - Distancia a la CCI: 14.6 km**

   a. **Colonia principal: Los Olivos:** Habitan aproximadamente 2,080 personas en 589 hogares. Se contabilizan 561 personas por km2, con una edad promedio de 34 años y una escolaridad promedio de 10 años cursados. Asimismo, se registran unos 150 establecimientos comerciales en operación.

   b. Colonias aledañas: Pueblo Nuevo, Las Garzas, Zona Central

3. **Estación Preparatoria CETMAR - Distancia a la CCI: 17.4 km**

   a. **Colonia principal: El Conchalito:** Habitan alrededor de 90 personas, es una de las colonias menos pobladas. Se contabilizan 16 habitantes por km2, con una edad promedio de 34 años y una escolaridad promedio de 14 años cursados. Los hogares de la zona tienen un nivel socioeconómico tipo **C**, con un ingreso por hogar estimado en MXN $33,600 y de MXN $14,200 por persona. Es de las colonias de mayor ingreso en Baja California Sur

   b. Colonias aledañas: Playa Palo de Santa Rita, Sector Inalapa, Barrio Manglito

4. **Estación Primaria Tres de Mayo - Distancia a la CCI: 12 km**

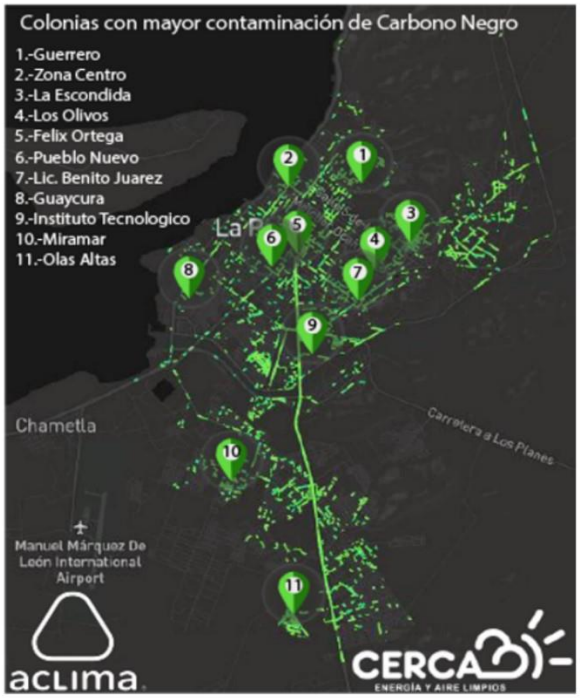
   a. **Colonia principal: Pedregal de Cortez**
   b. Colonias aledañas: Paseos de Cortez. Reforma I y II, Ciudad del Cielo, Colina del Sol

3.2.2 Monitoreo móvil

La empresa Aclima inició el monitoreo móvil en la ciudad de La Paz durante el 2018. Los datos que han reportado muestran la concentración de la contaminación de manera geolocalizada en zonas urbanas mediante un levantamiento de datos calle por calle. La información recopilada ha sido relevante en la toma de decisiones y en la caracterización de los contaminantes en la ciudad. A continuación, se muestran las colonias con mayor concentración de contaminantes de acuerdo a los datos acumulados para el periodo de abril de 2019 a mayo de 2020. Los datos fueron recopilados de la red de monitoreo móvil de Aclima. La Figura 43 muestra las Colonias más contaminadas por Carbono negro y CO, la Figura 44 muestra las colonias contaminadas por NOx y Ozono, por último, la Figura 45 muestra las colonias contaminadas por PM 2.5 (CERCA, 2020)

Figura 43 Colonias más contaminadas por Carbono negro y CO en la Cd. de La Paz

CARBONO NEGRO



CO

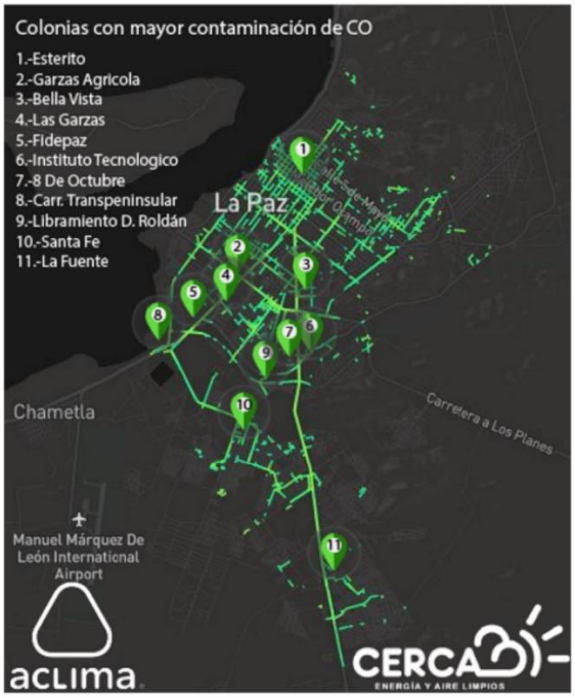


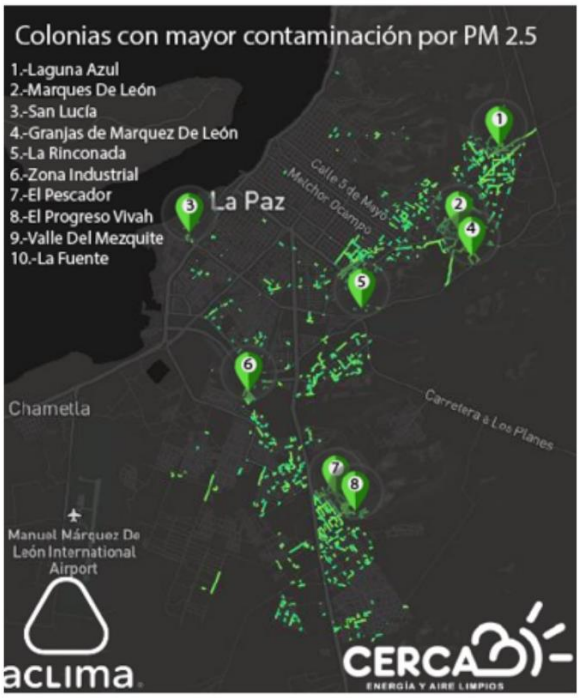
Figura 44 Colonias más contaminadas por NOx y Ozono en la Cd. de La Paz

NOX

OZONO

Figura 45 Colonias más contaminadas por PM 2.5 en la Cd. de La Paz

PM 2.5



Las vialidades principales, primordialmente Av. Forjadores y su ampliación, así como la colonia Manuel Márquez de León, presentan altas concentraciones de contaminantes. Adicionalmente, las elevadas concentraciones de contaminantes registradas en la salida a Los Cabos pueden relacionarse con el alto aforo vehicular, mientras que para el caso de la colonia Márquez de León, su cercanía con las centrales eléctricas puede ser la posible causa del reporte de contaminación.

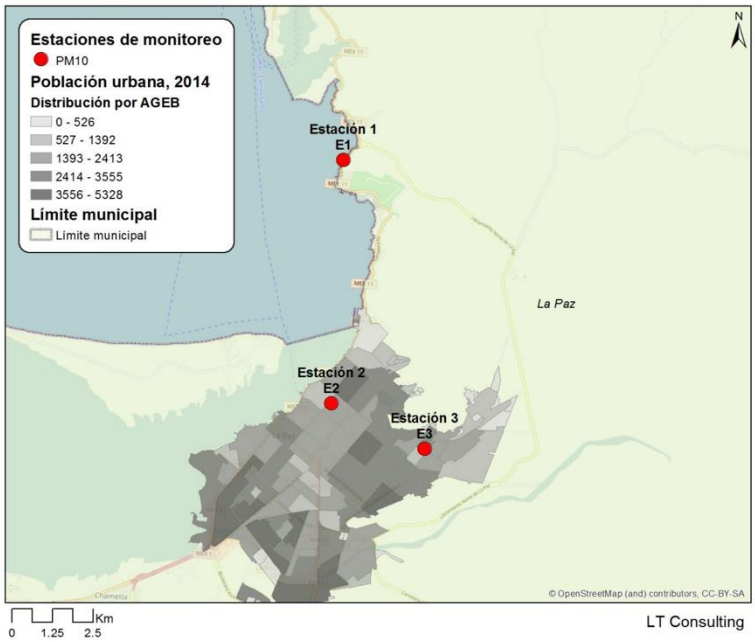
3.3 Análisis técnico del monitoreo de casetas de CFE en La Paz, B.C.S.

3.3.1 Información general

Debido a la falta de información sobre la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Baja California Sur y con el fin de conocer las concentraciones de los contaminantes criterio, se realizó un resumen estadístico con información de las casetas de monitoreo de CFE, recopilada a través de herramientas de transparencia. La información data de 2005 en adelante, con un total de 3 casetas ubicadas en diferentes puntos de la ciudad, sin embargo, el presente documento analizará la información en dos partes: primeramente, comparar las concentraciones de 2005 a 2020 con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM' s) y sus lineamientos, como segunda etapa se analizará la tendencia de datos históricos, con el fin de ver pendientes positivas o negativas a futuro. El estudio se llevó a cabo por la Asociación Civil: Centro de Energía Renovable y Calidad Ambiental (CERCA), ubicada sobre la colonia Pueblo Nuevo en La Paz, B.C.S. Cabe mencionar que las ubicaciones de las estaciones fijas no han sido cambiadas durante sus datos históricos, sólo añadiendo sensores en diferentes años y estaciones.

Actualmente Comisión Federal de Electricidad (CFE), cuenta con 3 estaciones de monitoreo es la ciudad de La Paz instaladas en 2005 y funcionando hasta la actualidad, estas estaciones miden constantemente SO2, NOx y O3, así mismo, se cuenta con un equipo manual se miden partículas de tamaño menor o igual a 10 micras (PM10), la estación 1 (E1) se encuentra al lado norte de la central termoeléctrica Punta Prieta, las estaciones 2 (E2) y 3 (E3), se encuentran dentro de la zona urbana de la ciudad de La Paz Figura 46.

Figura 46 Distribución estaciones de monitoreo CFE y distribución urbana



(Lt Consulting, 2018)

En nuestro país, la Secretaría de Salud es el órgano responsable de evaluar la evidencia de los impactos de la contaminación atmosférica en la salud y establecer los límites permisibles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. En México se norman los siguientes contaminantes atmosféricos: dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono (O3), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros de diámetro (PM10, PM2.5) y plomo (Pb). La línea de investigación de salud ambiental se encarga de manera dedicada a relacionar los efectos de la contaminación en la salud de la población. En la Tabla 18 se

resumen los valores normados utilizados en el presente documento, en este caso sólo dos contaminantes cuentan con lineamientos para promedios diarios y/o anuales.

Tabla 18 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos (DOF)

Contaminante	NOM	Publicación	Descripción
Dióxido de Azufre (SO2)	NOM-022-SSA1-2019	20 de agosto de 2019	0.075 ppm, promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales como promedio horario. 0.040 ppm, máximo promedio de 24 horas
Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})	NOM-025-SSA1-2014	20 de agosto de 2014	75 µg/m^3, promedio 24 horas 40 µg/m^3, promedio anual
-	NOM-156-SEMARNAT-2012	16 de julio de 2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire
-	NOM-172-SEMARNAT-2019	20 de noviembre de 2019	Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud

Las últimas dos normas se utilizan para calcular índices de calidad del aire estableciendo diferentes estados relacionados con sus repercusiones en la salud y la última sirve para evaluar la operación de estaciones fijas.

3.3.2 Evaluación de límites permisibles

Se presenta el diagnóstico de la calidad del aire de La Paz, B.C.S. para los años 2005-2020 tomando como base los indicadores desarrollados sobre el cumplimiento de las NOM-022-SSA1-2019 y NOM-025-SSA1-2014 en la materia y la distribución del número de días monitoreados, valores superiores al límite por cada estación. Se incluyen los resultados de estadísticos como promedio diario, anual y percentiles 10 y 90 de las concentraciones diarias, número de días con concentraciones superiores a los limites normados vigentes para cada contaminante y número de días en que se incumple cualquier norma de calidad del aire.

3.3.2.1 Estación 1

Tabla 19 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 1 (DOF)

Año	**Material particulado 10 micras**	
	No. de días con datos	No. de días > NOM
2008	59	5
2009	58	0
2010	61	1
2011	50	0
2012	0	0
2013	0	0
2014	15	0
2015	51	0
2016	201	1
2017	332	3
2018	298	0
2019	319	0
2020	342	0

NOTA: Para la estación 1 se añadió monitoreo diario de PM10 el día: 01/01/2016, sin embargo, entre años 2008 - 2015 se contó con muestreo semanal, es decir, un promedio diario por semana

En la Tabla 19 se visualizan diferentes cantidades de números de días monitoreado por el contaminante criterio PM10 y su comparación con la Norma Oficial Mexicana, sólo PM10 se pudo analizar debido a los lineamientos sobre el procesamiento de información. En repetidas ocasiones se cuentan con ausencia de datos, sin embargo, la mayoría no son errores de la estación si no mantenimientos o correcciones en sensores individuales. El contaminante de PM10 a partir del año 2016 comenzó a contar con aceptable cobertura de datos, antes los años no contaban con más de 121 días, ningún año se contó con el 100% de promedios diarios en el año, siendo el máximo en 2017 con 332 días. En años recientes la estación 1 sobrepasó los límites de PM10 en año 2017 (3 veces).

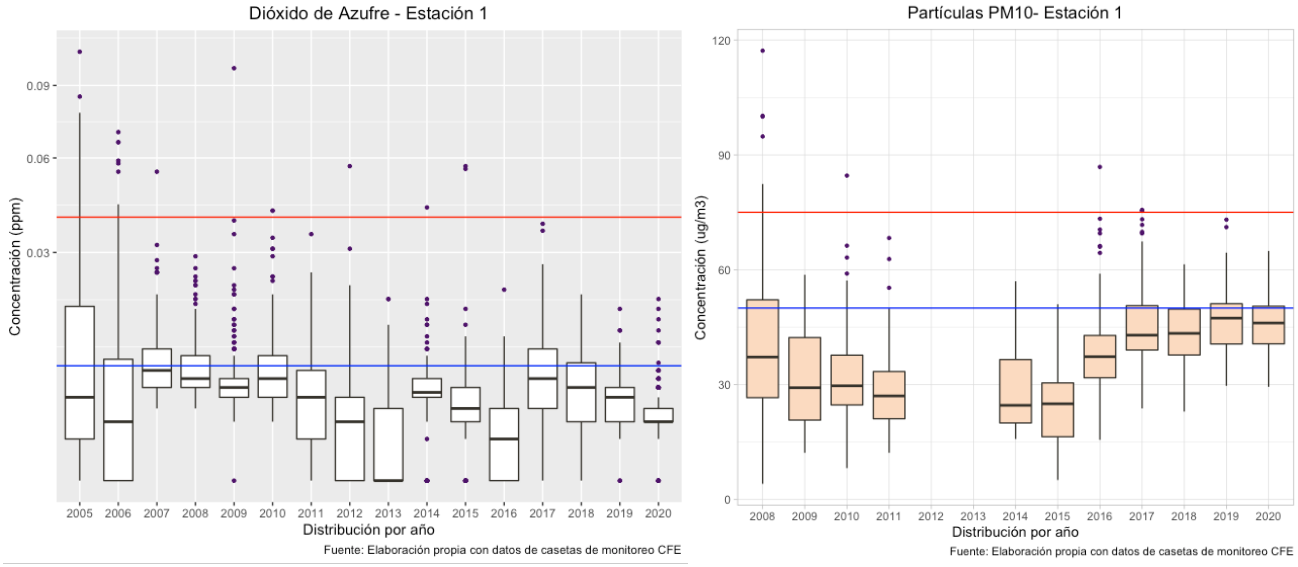
Tabla 20 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 1 (DOF)

Año	**Dióxido de Azufre**			
	No. de días con datos	Límite NOM	Valor máximo	Observación
2005	143	DI	DI	No cumple con año calendario
2006	243	DI	0.07	Trimestre 3 incompleto
2007	193	DI	0.055	Trimestres 2 y 3 incompletos
2008	348	0.04	0.029	Se analiza con el valor máximo de 2009. No cumplió el límite
2009	359		0.098	
2010	365		0.042	
2011	364	DI	0.035	Trimestres 3 y 4 incompletos
2012	339	DI	0.057	Trimestre 1 incompleto
2013	301	DI	0.019	Trimestres 1 y 4 incompletos
2014	327	DI	0.043	Trimestre 1 incompleto
2015	269	DI	0.057	Sólo trimestre 1 completo
2016	298	DI	0.021	Trimestre 3 incompleto
2017	346	0.02	0.038	No cumplió el límite
2018	298	DI	0.02	Trimestre 3 incompleto
2019	334	0.03	0.017	Se analiza con valor máximo de 2020
2020	356		0.019	

NOTA: Los límites para el valor máximo cambia en circunstancia de cuántos años consecutivos están completos, si se tienen 3 años consecutivos completos es: 0.04 ppm, para dos 2 años 0.03 ppm y para sólo un año completo el límite es: 0.02 ppm.

El contaminante del dióxido de azufre se analizó con base en el valor máximo obtenido del conjunto de años consecutivos que estuvieron completos, pudiendo existir un solo año completo, dos o hasta 3 años (Tabla 20). Para el caso de estación 1, el contaminante Azufre contó con el 100% de datos sólo el año 2010, mientras que el año con menor días monitoreados fue 2005, por otra parte, sólo se pudieron evaluar 3 promedios con las normas oficiales, de los cuáles dos no cumplieron con el límite. Con el fin de analizar del conjunto de datos histórico se utilizó un diagrama de caja Figura 47.

Figura 47 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 1



a) b)

NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-022-SSA1-2019 y NOM-025-SSA1-2014 dado en promedios diarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

Se puede visualizar en el caso de Dióxido de azufre como presentó mayor cantidad de valores arriba de la NOM en el año 2005, sin embargo, los demás años también se ve como los casos donde sobrepasa la NOM, aunque como datos atípicos, en los últimos años fue 2017 quién presenta valores más cerca de los límites, tales valores se pueden considerar de alto riesgo en recomendaciones internacionales. En el lado "b" se visualiza como los años 2017 y 2019 presentan valores cerca o sobre los límites permisibles de material particulado 10, al igual que el caso de SO2, con otros límites internacionales podrían considerarse riesgosas diferentes concentraciones diarias. Para el caso de PM10 en los años 2013 y 2014 no se cuenta con información histórica.

3.3.2.2 Estación 2

Tabla 21 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 2 (DOF)

Año	**Material particulado 10 micras**	
	No. de días con datos	No. de días > NOM
2008	59	4
2009	58	3
2010	61	2
2011	60	3
2012	61	5
2013	60	1
2014	57	3
2015	51	0
2016	42	1
2017	314	1
2018	297	0
2019	328	0
2020	335	0

NOTA: Para la estación 2 se añadió monitoreo diario de PM10 el día: 20/11/2016, sin embargo, entre años 2008 - 2015 se contó con muestreo semanal, es decir, un promedio diario por semana.

En la Tabla 21 se visualizan diferentes cantidades de números de días monitoreado por cada contaminante, debido a que sólo PM10 se puede comparar con Normas Oficiales Mexicanas, se analizó de forma individual. En repetidas ocasiones se cuentan con ausencia de datos, sin embargo, la mayoría no son errores de la estación si no mantenimientos o correcciones en sensores individuales. En el caso de material particulado en años recientes se detectaron sólo dos promedios diarios sobrepasando el límite, en los años 2016 y 2017, sin embargo, de 2008 a 2014 hubo al menos un día que sobrepasó la norma oficial.

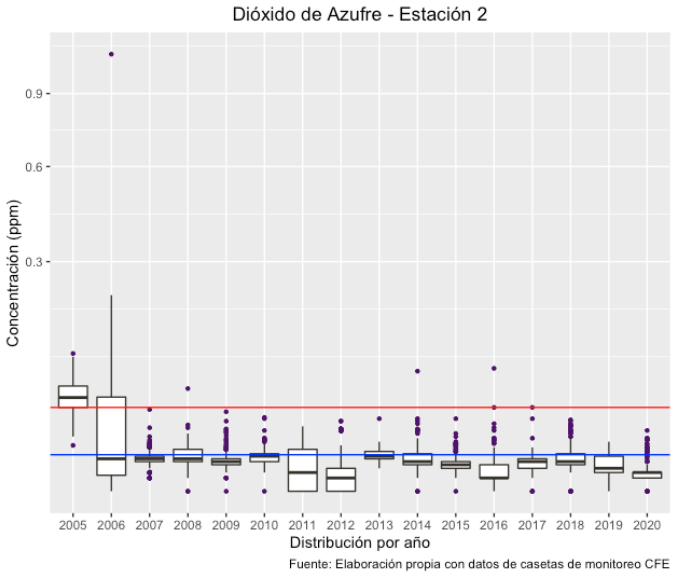
Tabla 22 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 2 (DOF)

Año	Dióxido de Azufre			
	No. de días con datos	Límite NOM	Valor máximo	Observación
2005	143	DI	DI	No cumple con año calendario
2006	243	DI	1.087	Trimestre 2 y 3 incompletos
2007	360	0.03	0.038	Se analiza con el valor máximo de 2008. No cumplió el límite
2008	354		0.06	
2009	290	DI	0.036	Trimestre 2 incompleto
2010	352	0.03 DI 0.03	0.031	Se analiza con el valor máximo de 2010, año 2011 presentó trimestres 2 y 3 incompletos. No cumplió el límite
2011	267		0.024	
2012	366		0.028	
2013	17	DI	0.03	Ningún trimestre completo
2014	328	0.02	0.082	No cumplió el límite
2015	283	DI	0.03	Trimestre 4 incompleto
2016	187	DI	0.086	Ningún trimestre completo
2017	314	DI	0.04	Trimestre 3 incompleto
2018	181	DI	0.029	Trimestres 3 y 4 incompletos
2019	280	DI	0.014	Trimestre 1 incompleto
2020	356	0.02	0.021	No cumplió el límite

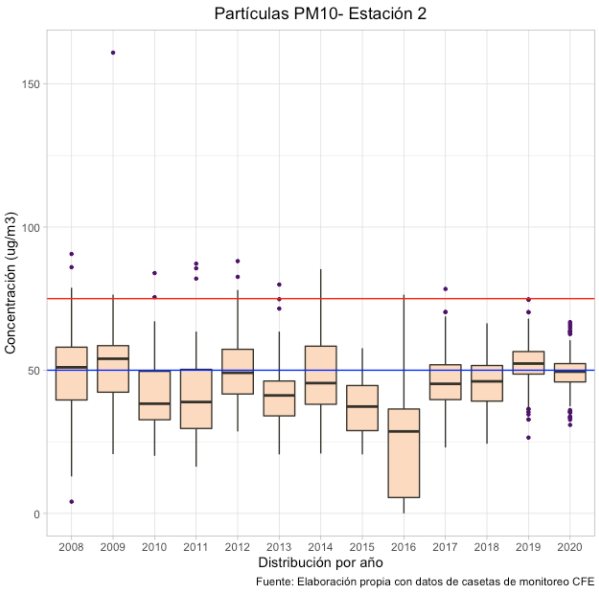
NOTA: Los límites para el valor máximo cambia en circunstancia de cuántos años consecutivos están completos, si se tienen 3 años consecutivos completos es: 0.04 ppm, para dos 2 años 0.03 ppm y para sólo un año completo el límite es: 0.02 ppm.

Para el caso de estación 2, el año 2005 y 2006 contó con valores diarios de dióxido de azufre sobrepasando los límites gran cantidad de veces, sin embargo, no pudo compararse al no cumplir la compleción de información (Tabla 22). En 2013 contó con el menor días monitoreados de azufre (17 días), y sólo el año 2012 se contó con todos los 366 días del año monitoreados, en promedio la cantidad de días oscilan en la mediana 275 para la estación 2. Se pudieron analizar 4 valores, habiendo casos de 1, 2 y hasta 3 años consecutivos con sus correspondientes valores máximos, de ninguno se observó un cumplimiento con la normatividad vigente. Con el fin de analizar el conjunto de datos histórico se utilizó un diagrama de caja Figura 48

Figura 48 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 2



a)



b)

NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-022-SSA1-2019 y NOM-025-SSA1-2014 dado en promedios diarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

Se puede visualizar tanto en el caso de Dióxido de azufre como presentó mayor cantidad de valores arriba de la NOM en el año 2005 y 2006, sin embargo, los demás años se visualiza más normalizado, aunque existiendo casos atípicos en que los promedios diarios sobrepasan la NOM (2014, 2016, 2017), en los últimos años fue 2018 quién presenta valores más cerca de los límites, tales valores se podrían considerar de alto riesgo en recomendaciones internacionales. En el lado "b" se visualiza como los años 2017 y 2019 presentan valores cerca o sobre los límites permisibles de material particulado 10, aunque sólo el primero cuenta con un valor sobre el límite. Para los años 2008 a 2014 sus valores arriba de las normas mexicanas se consideran atípicos.

3.3.2.3 Estación 3

Tabla 23 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 3 (DOF)

Año	Material particulado 10 micras	
	No. de días con datos	No. de días > NOM
2008	57	51
2009	58	43
2010	61	40
2011	60	37
2012	61	41
2013	60	12
2014	61	22
2015	32	10
2016	42	17
2017	311	47
2018	322	27
2019	338	4
2020	343	0

NOTA: Para la estación 3 se añadió monitoreo diario de PM10 el día: 20/11/2016, sin embargo, entre años 2008 - 2015 se contó con muestreo semanal, es decir, un promedio diario por semana.

En la Tabla 23 se visualizan diferentes cantidades de números de días monitoreado por cada contaminante, debido a que sólo PM10 se puede comparar con Normas Oficiales Mexicanas, se analizó de forma individual. En repetidas ocasiones se cuentan con ausencia de datos, sin embargo, la mayoría no son errores de la estación si no mantenimientos o correcciones en sensores individuales. Al contrario de estaciones 1 y 2, cuenta con valores altos tanto en PM10 en todos los años a excepción de 2020, cabe resaltar que aún al tener poca información de 2008 a 2014 los valores encima de los límites son abundantes, inclusive en 2008 el 90% de datos fue sobrepasando la norma mexicana.

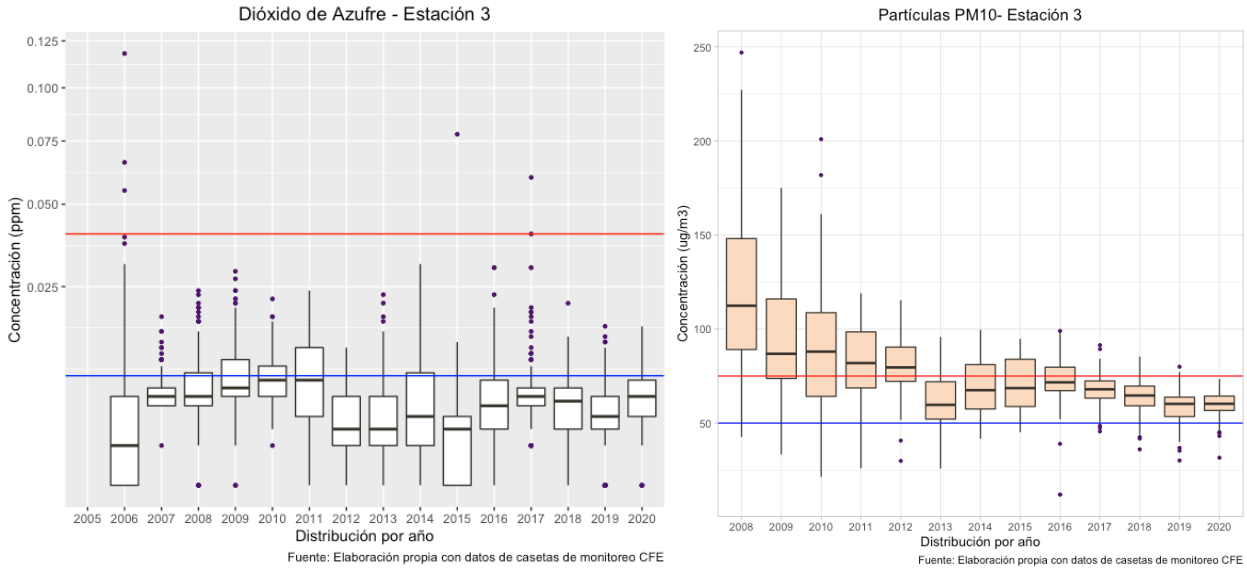
Tabla 24 Normas Oficiales Mexicanas utilizadas como lineamientos en estación 3 (DOF)

Año	**Dióxido de Azufre**			
	No. de días con datos	Límite NOM	Valor máximo	Observación
2005	143	DI	DI	No cumple con año calendario
2006	120	DI	0.118	Sólo trimestre 1 completo
2007	272	DI	0.018	Trimestres 1 y 3 incompletos
2008	271	DI	0.024	Trimestres 2 y 4 incompletos
2009	365	0.02	0.029	No cumplió el límite
2010	301	DI	0.022	Trimestre 1 incompleto
2011	141	DI	0.024	Sólo trimestre 1 completo
2012	350	0.02	0.012	Cumplió el límite
2013	292	DI	0.023	Trimestre 4 incompleto
2014	299	DI	0.031	Trimestre 2 incompleto
2015	281	DI	0.078	Trimestre 4 incompleto
2016	194	DI	0.03	Sólo trimestre 4 completo
2017	303	DI	0.06	Trimestre 3 incompleto
2018	322	DI	0.021	Trimestre 3 incompleto
2019	355	0.03	0.016	Cumplió el límite
2020	356		0.016	

NOTA: Los límites para el valor máximo cambia en circunstancia de cuántos años consecutivos están completos, si se tienen 3 años consecutivos completos es: 0.04 ppm, para dos 2 años 0.03 ppm y para sólo un año completo el límite es: 0.02 ppm.

En la Tabla 24 muestra como el dióxido de azufre registró valores altos en los años 2006, 2015 y 2017, sin embargo, no se pudo comparar debido a su compleción de datos. En 2006 contó con el menor días monitoreados (120), y sólo el año 2009 se contó con todos los 365 días del año monitoreados. Los años 2009 y 2012 se analizaron de forma individual con el límite de 0.02 ppm, y los años 2019 y 2020 se compararon con el límite de 0.03 ppm, sólo el año 2009 no cumplió con la normatividad. Con el fin de analizar el conjunto de datos histórico se utilizó un diagrama de caja Figura 49.

Figura 49 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre (lado b) y Partículas PM10 (lado a) de la estación 3



a) b)

NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-022-SSA1-2019 y NOM-025-SSA1-2014 dado en promedios diarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

Se puede visualizar en el caso de Dióxido de azufre (Figura a) como presentó valores altos en los 2006, 2015 y 2017, incluso datos atípicos que sobrepasaron los lineamientos de la NOM. Para todos los años se obtiene una media entre los 0 y 0.012 ppm, sus valores atípicos comienzan arriba de 0.025 ppm para cualquier año. En el caso de PM10 (Figura b) Todos los años presentan valores altos, aunque han ido en decremento. Los monitoreos 2008 a 2012 presentan más del 50% de sus datos arriba de la norma mexicana. Para años recientes en 2016 la media aritmética se localiza muy cerca del límite permisible y comienza el decremento.

3.3.2.4 Medias anuales de PM10

Para el cálculo de promedio anual en material particulado de 10 micras se utilizan 4 trimestres del año, se tiene que contar con al menos 3 promedios trimestrales para poder calcular un promedio anual (DOF, 2014). Los trimestres se enumeran de 1 a 4 en su orden calendario, se utilizan en tabla 2.4 para indicar que provocó problemas en los cálculos. Cada trimestre debió contar con al menos el 75% de sus datos diarios, sin importar el orden de los mismos mientras estén en el rango de tres meses, esto da un total de 68-69 datos mínimos para que un trimestre sea válido. Los años 2008 a 2015 no se tomaron en cuenta al contar con menos del 20% de días monitoreados en el año debido a su muestreo semanal.

Tabla 25 Promedios anuales en tres estaciones comparados con los límites permisibles (DOF)

Año	Caseta 1	Caseta 2	Caseta 3	Descripción
2016	DI	DI	DI	Caseta 1 cuenta con el primer y tercer semestre con datos insuficientes (DI), C2 y C3 ningún trimestre válido
2017	44.1	46	68	Ninguna estación cumplió con el límite permisible
2018	43.4	45.2	64	Ninguna estación cumplió con el límite permisible
2019	46.9	52.36	59.4	Ninguna estación cumplió con el límite permisible
2020	45.62	49.2	60.36	Ninguna estación cumplió con el límite permisible

NOTA: Se utilizó nomenclatura "DI" para datos insuficientes y color "Rojo" para valores que sobrepasan los límites.

Se puede visualizar en la Tabla 25 que ninguna caseta obtuvo algún promedio anual válido dentro de los años 2017,2018, 2019 y 2020, para los demás años no se cuenta con información suficiente para una media anual de ninguna estación. El límite permisible establecido por la NOM-025-SSA1-2014 es de 40 ug/m3, la caseta 3 presentó los más altos valores, incluso en el año 2017 su promedio anual superó en 70% el límite permisible.

3.3.3 Evaluación de ausencia de información

Con el fin de evaluar el cumplimiento de las NOMs se observó los días sin información para los contaminantes Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Ozono y Material Particulado 10. Según la NOM-156-SEMARNAT-2012 (DOF, 2012), establece que un sistema de monitoreo debe contar con al menos 75% de datos en un año calendario, con el fin de poder analizar tendencias e indicadores de estado. Teniendo de partida los promedios diarios, se analizaron los días en el año sin datos separados para cada estación y contaminante desde su instalación.

3.3.3.1 Estación 1

Tabla 26 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 1 (DOF, 2012)

Año	No. de días **sin** datos por contaminante				Días **con** datos de todos los contaminantes
	SO2	NO2	O3	PM10	
2005	10	10	NA	NA	143
2006	122	122	NA	NA	243
2007	172	172	NA	NA	193
2008	18	34	NA	NA	332
2009	6	6	NA	NA	359
2010	0	0	NA	NA	365
2011	123	9	NA	NA	234
2012	73	27	205	NA	293 (sin O3)
2013	64	64	64	NA	301
2014	69	83	38	NA	251
2015	174	96	143	NA	170
2016	68	29	36	165	298 (sin pm10)
2017	19	19	19	33	332
2018	67	67	184	67	181
2019	27	27	189	46	157
2020	10	10	10	24	342

NOTA: Para la estación 1 se añadió monitoreo de Ozono (O3) el día 01-07-2012, medición de PM10 diario comenzó el día 01/01/2016, se utilizó nomenclatura NA en datos previos. Se utilizó color "Rojo" para valores que no cumplieron 75% del año calendario. Para los casos de no contar con año calendario se utilizó color "Azul", indicando que no se pudo evaluar.

El 75% de datos mínimos son 274-275 días de monitoreo, lo que significa que se puede contar con hasta 91-92 días sin datos. En estación 1 se puede observar que todos los contaminantes a excepción de PM10 presentaron mínimo un año que no cumplió con la NOM, cabe resaltar que en años recientes (2018 y 2019) el contaminante que más falta de información es el Ozono con más de la mitad de los registros vacíos. Como último punto se observó que sólo el año 2010 cuenta con todos los promedios diarios de todos los contaminantes al 100%. El monitoreo de PM10 realizado de 2008 a 2015 no se tomó en cuenta, debido a su metodología semanal.

3.3.3.2 Estación 2

Tabla 27 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 2 (DOF,2012)

Año	No. de días **sin** datos por contaminante				Días **con** datos de todos los contaminantes
	SO2	NO2	O3	PM10	
2005	10	10	NA	NA	143
2006	122	122	NA	NA	243
2007	5	47	NA	NA	316
2008	12	81	NA	NA	281
2009	75	75	NA	NA	290
2010	13	13	NA	NA	352
2011	98	68	NA	NA	267
2012	0	0	183	NA	366 (sin O3)
2013	348	365	348	NA	0
2014	37	175	28	NA	177
2015	82	82	82	NA	283
2016	179	179	221	324	145 (sin pm10)
2017	51	51	96	51	269
2018	184	69	68	68	181
2019	85	27	27	37	270
2020	10	10	10	31	335

NOTA: Para la estación 2 se añadió monitoreo de Ozono (O3) el día 01-07-2012, medición de PM10 comenzó el día 20/11/2016, se utilizó nomenclatura NA en datos previos. Se utilizó color "Rojo" para valores que no cumplieron 75% del año calendario. Para los casos de no contar con año calendario se utilizó color "Azul", indicando que no se pudo evaluar.

El 75% de datos mínimos son 274-275 días de monitoreo, lo que significa que se puede contar con hasta 91-92 días sin datos. En estación 2 se puede observar que todos los contaminantes a excepción de PM10 presentaron mínimo un año que no cumplió con la NOM, cabe resaltar que en años recientes (2016 a 2019) no se cuenta con años que tengan el 75% de todos los contaminantes. Los años 2013 y 2016 no se cumplió la Norma Oficial Mexicana para ningún contaminante. Como último punto se observó que sólo el año 2012 cuenta con todos los promedios diarios de todos los contaminantes al 100%. El monitoreo de PM10 realizado de 2008 a 2015 no se tomó en cuenta, debido a su metodología semanal.

3.3.3.3 Estación 3

Tabla 28 Evaluación de NOM-156-SEMARNAT-2012 para ausencia de información en estación 3 (DOF,2012)

Año	No. de días **sin** datos por contaminante				Días **con** datos de todos los contaminantes
	SO2	NO2	O3	PM10	
2005	NA	NA	NA	NA	NA
2006	245	145	NA	NA	120
2007	93	92	NA	NA	272
2008	95	95	NA	NA	271
2009	0	0	NA	NA	365
2010	64	64	NA	NA	301
2011	224	2	NA	NA	141
2012	16	16	182	NA	350 (sin O3)
2013	73	73	73	NA	292
2014	66	66	66	NA	299
2015	84	167	67	NA	198
2016	172	172	172	324	194 (sin pm10)
2017	62	62	62	54	303
2018	43	43	43	43	322
2019	10	10	121	27	227
2020	10	10	10	23	343

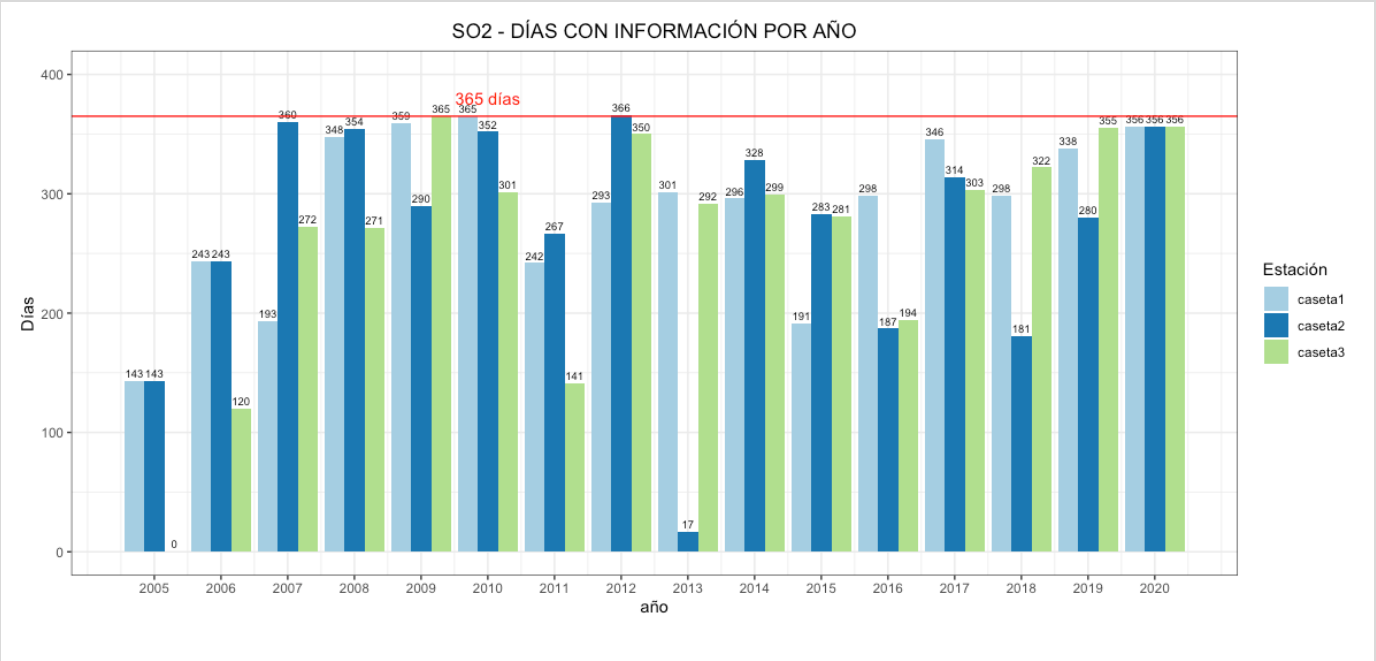
NOTA: Para la estación 3 se añadió monitoreo de Ozono (O3) el día 01-07-2012, medición de PM10 comenzó el día 20/11/2016, se utilizó nomenclatura NA en datos previos. Se utilizó color "Rojo" para valores que no cumplieron 75% del año calendario. Para los casos de no contar con año calendario se utilizó color "Azul", indicando que no se pudo evaluar.

El 75% de datos mínimos son 274-275 días de monitoreo, lo que significa que se puede contar con hasta 91-92 días sin datos. En estación 3 se puede observar que todos los contaminantes a excepción de PM10 presentaron mínimo un año que no cumplió con la NOM, cabe resaltar que en año 2016 no se cuenta con el 75% de ninguno de los contaminantes. Los años 2015, 2016 y 2019 no se cumplió la Norma Oficial Mexicana para ningún contaminante. Como último punto se observó que sólo el año 2009 cuenta con todos los promedios diarios de todos los contaminantes al 100%. El monitoreo de PM10 realizado de 2008 a 2015 no se tomó en cuenta, debido a su metodología semanal.

3.3.4 Series de tiempo anuales

En los apartados anteriores, así como en la recopilación de información a través de herramientas de transparencia, se detectó un grave problema con la falta de envío de datos por todas las estaciones, por lo tanto, con el fin de continuar observando la ausencia de información, se realizó un análisis de los años con menos información por contaminante. Para esto se contaron los días que hubo información agrupándolos en un gráfico de barras y marcando como límite los 365 días de un año calendario (Figura 50).

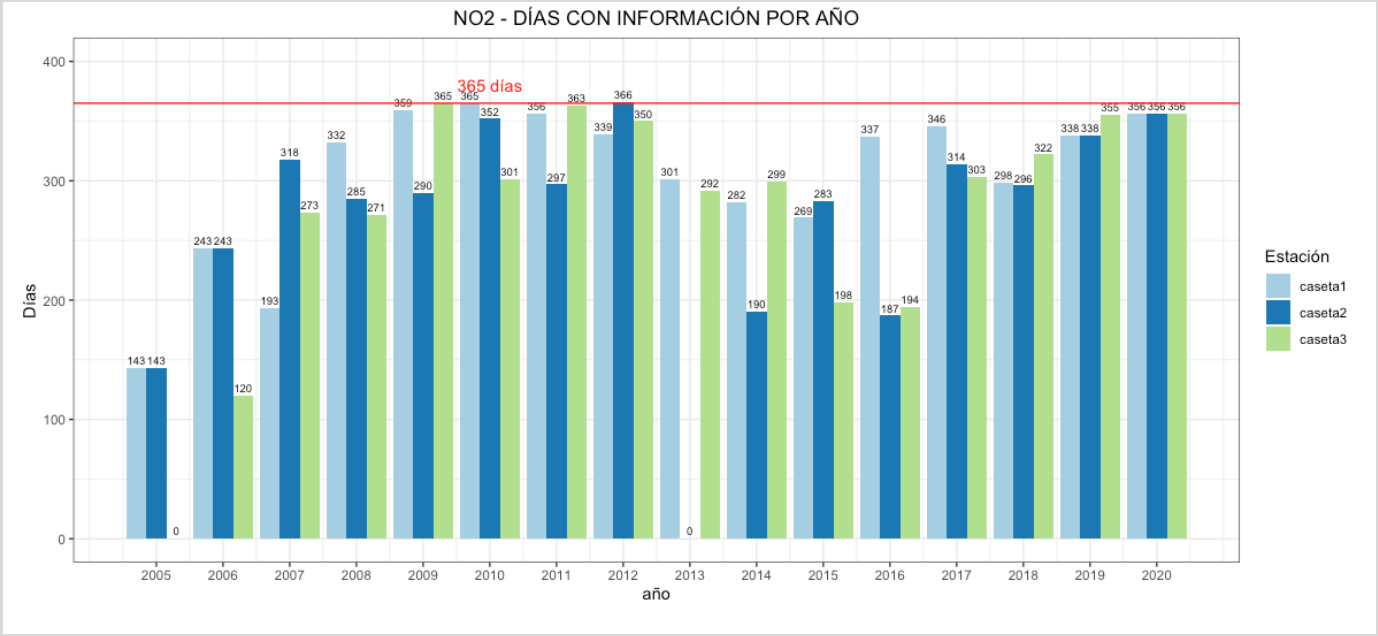
Figura 50 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para la cantidad de días anuales.

Primeramente, en la Figura 50 se muestran los datos de dióxido de azufre, se puede visualizar como sólo pocos años se encuentran el 100% de los datos o al menos cercano al máximo, sin embargo, hay extremos como el año 2013 que sólo contó con 17 datos en caseta 2 debido a fallas con el datalogger, o caseta 3 que contó con 120 y 141 en los años 2006 y 2011 respectivamente. Para las 3 casetas se presentan años con alta varianza en cantidad de datos; de igual manera lo es para todos los años, aunque los años con valores más bajos pudiesen ser 2011, 2015 y 2016, en dónde algunas casetas tienen menos del 50% de un año calendario.

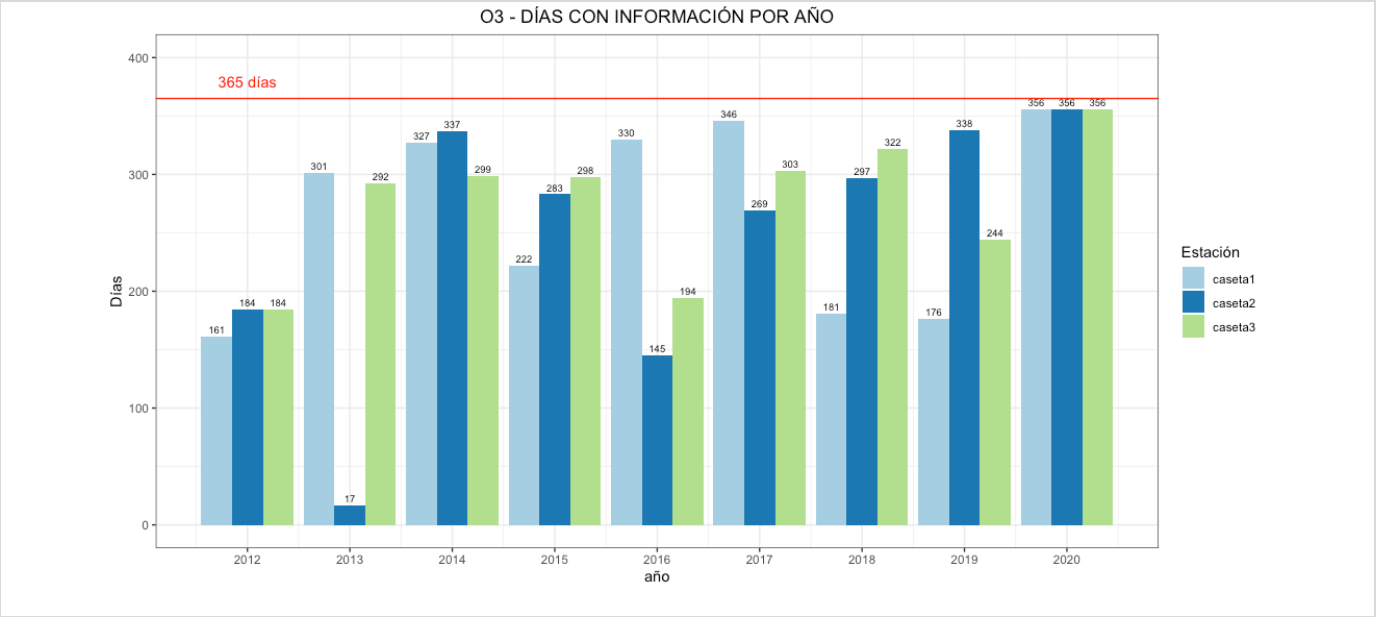
Figura 51 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para dióxido de nitrógeno en las 3 estaciones



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para la cantidad de días anuales.

En la Figura 51 se puede visualizar el comportamiento de dióxido de nitrógeno con pocos datos al inicio del monitoreo (2005, 2006), sin embargo, fueron en aumento los siguientes años, teniendo un mayor porcentaje de datos entre los años 2008-2012 y los 2017-2020. Para el año 2013 existieron problemas con el datalogger y posterior con el analizador de óxidos nitrógeno, al estar dañado se tardaron en recibir cotización y adquisición de uno nuevo, esto en la estación 2, por lo tanto, no se obtuvo ningún dato de NO2. Para los años 2014, 2015 y 2016 hubo poca información de un año calendario, incluso en 2016 caseta 2 y 3 llegaron a estar cerca de sólo el 50% de datos completos.

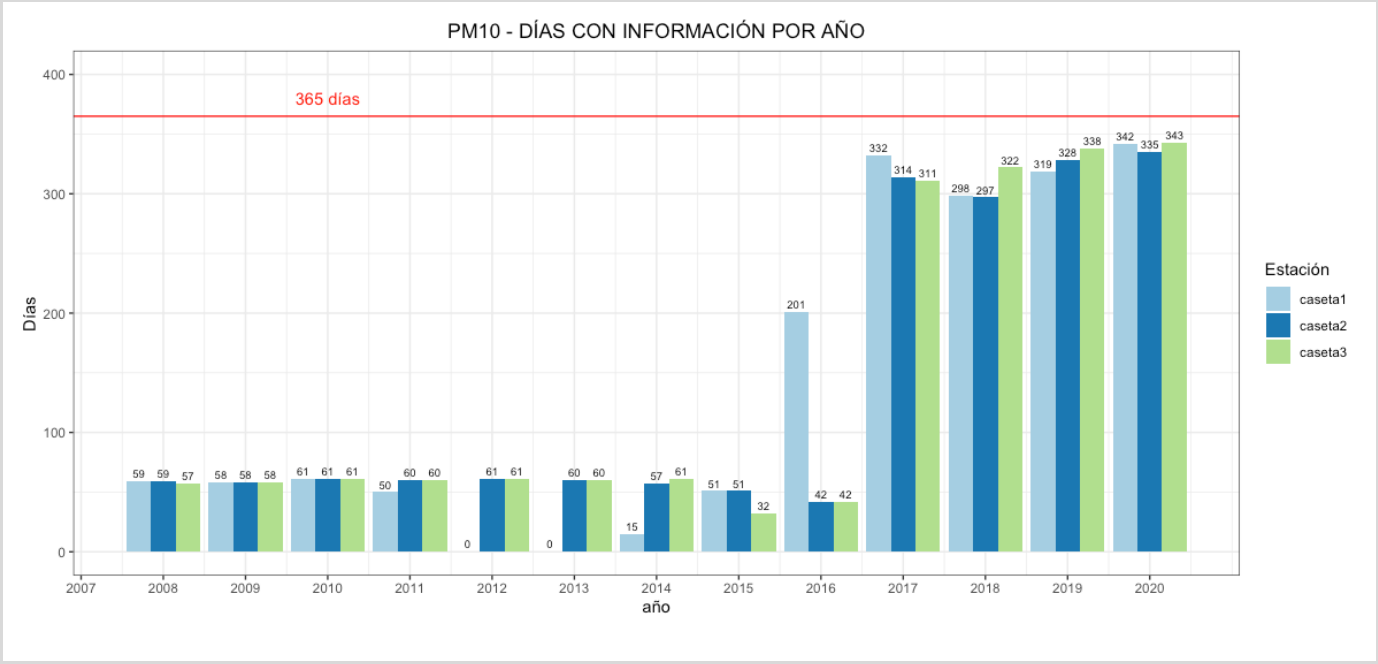
Figura 52 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para ozono en las 3 estaciones CFE



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para la cantidad de días anuales.

A mediados de Julio del año 2012 se llevó a cabo la instalación de sensores de Ozono en las 3 estaciones de monitoreo, por lo tanto, sólo llegaron a registrar menos de 200 días de información en ese año calendario (Figura 52). Ningún año ha tenido el 100% de información, aunque para 2020 esta cifra fue casi alcanzable con 356 datos. En el año 2013 en caseta 2 hubo fallas en el datalogger que afectaron al registro de todos los datos de la estación, como se comentó en otros apartados. Hubo casos en donde se obtuvo menos del 50% de datos, como en 2016 en caseta 2, y dos años consecutivos en caseta 1 (2018 y 2019), en su mayoría por fallas en datalogger o específicamente daños en el analizador de O_3.

Figura 53 Comportamiento de datos diarios registrados por año, para material particulado en las 3 estaciones CFE



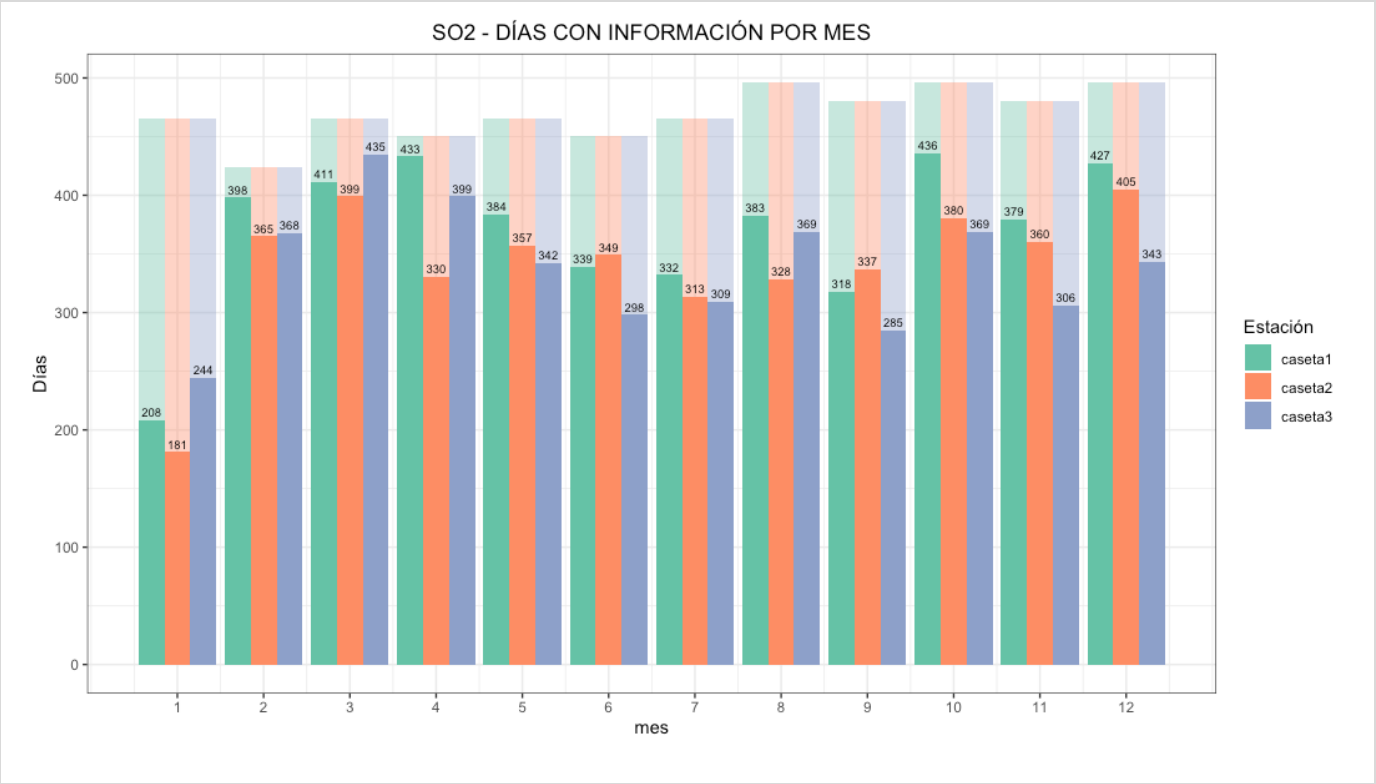
NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para la cantidad de días anuales.

Entre los años 2006 a 2016 el monitoreo de material particulado (Figura 53) se realizó de forma semanal, sin embargo, se visualizan de forma simétrica los datos de las 3 estaciones. A mediados de 2016 se instaló sensor automático de PM en caseta 1 y para finales del mismo año en las demás ubicaciones. A diferencia de los demás contaminantes se observa un mayor porcentaje cubierto de un año calendario en el monitoreo de Material Particulado, sin embargo, nunca se cumple el 100% que son 365 y/o 366 días del año.

3.3.5 Series de tiempo mensuales

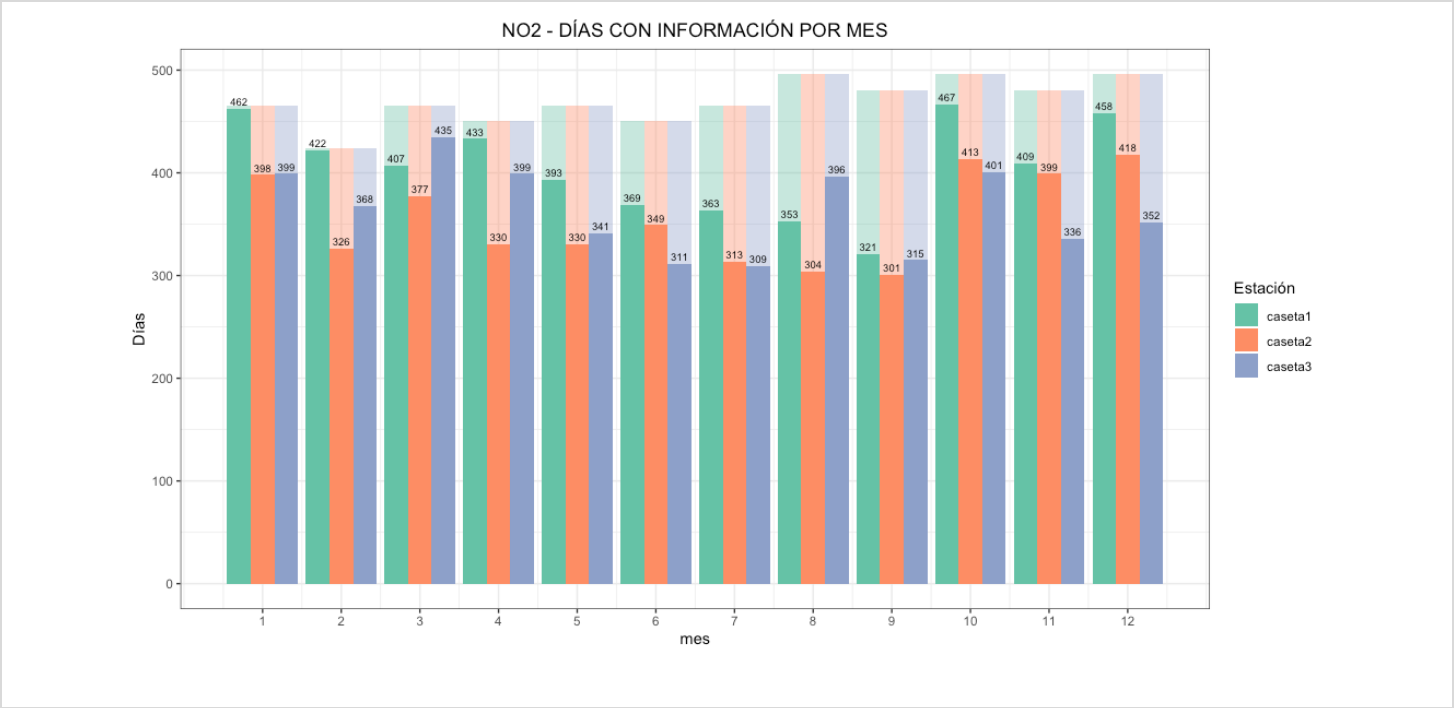
Con el mismo fin de continuar analizando la insuficiencia de datos, se segmenta la cantidad de días con información por meses para cada uno de los contaminantes en los siguientes gráficos. En cada gráfico se muestra el total de días con datos por mes para cada estación y con la propiedad *alpha=4/10* para transparencia el total de días que debieron tener registrados para estación, es decir, el fondo muestra la suma de los días con y sin información. Cada contaminante fue procesado basándose en la fecha de instalación de sus sensores.

Figura 54 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE



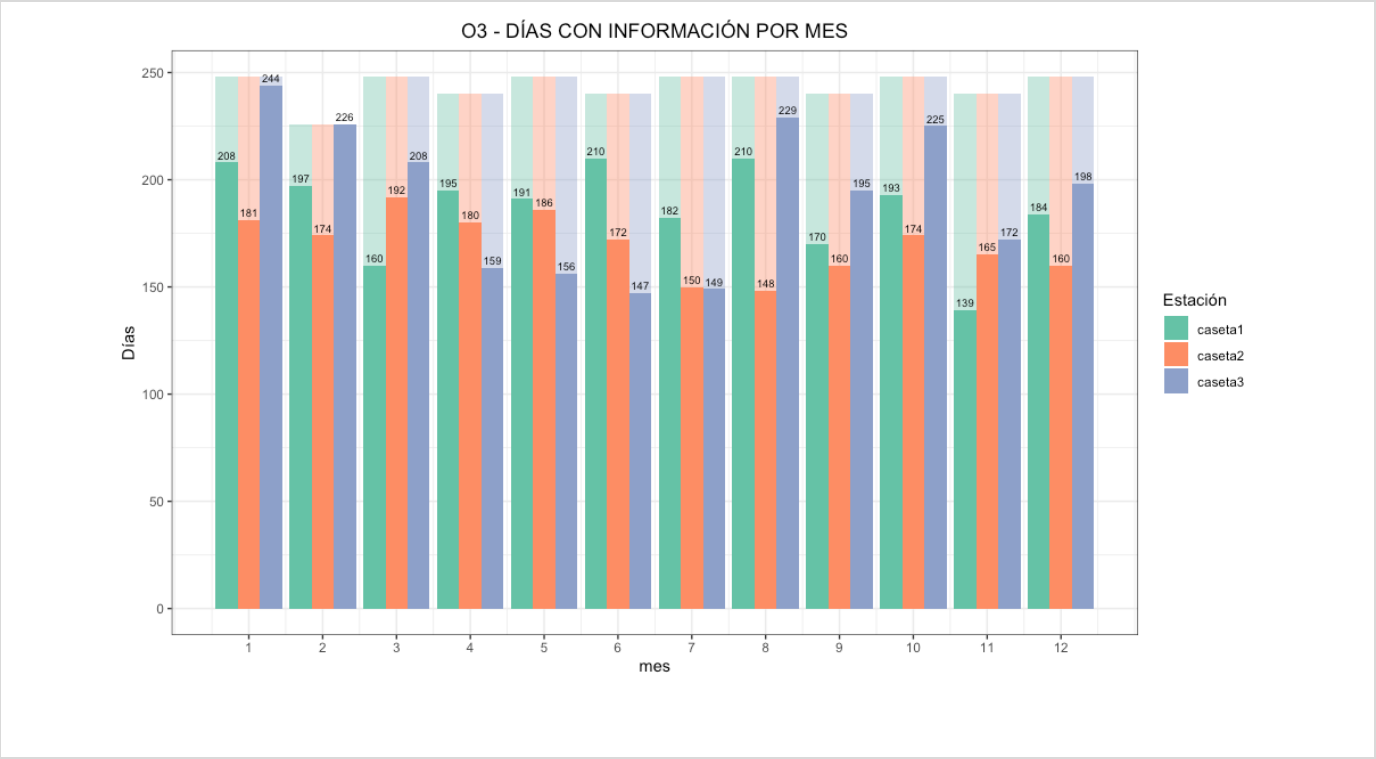
El caso de SO2 mostrado en Figura 54 cuenta con mayor cantidad de registros en los meses de febrero y marzo. El mes de enero presenta la menor cantidad de datos para las 3 estaciones, llegando a ser menos del 50% del total de datos que debieron registrarse, en su mayoría fue por fallas de analizador y/o problemas con el datalogger, exceptuando caseta 2 que también contó con demoras a la hora de adquirir un nuevo dispositivo para SO2. Por último, se observa un decremento en los meses de enero visto como un histograma, esto debido a las causas más comunes que son por el analizador o el datalogger. Hay múltiples campos vacíos sin causa escrita en los registros.

Figura 55 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para dióxido de nitrógeno en las estaciones CFE



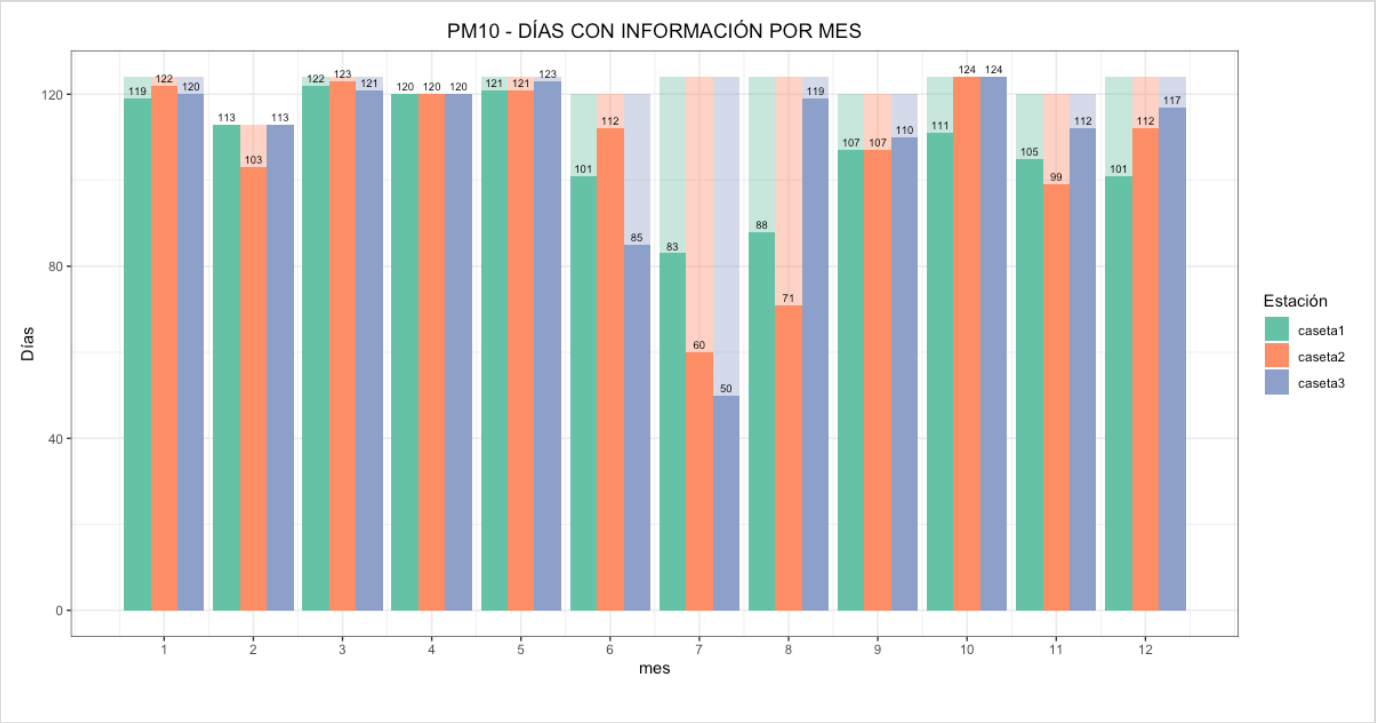
El contaminante dióxido de nitrógeno mostrado en Figura 55 junto con SO2 fueron los sensores iniciales para las 3 estaciones, eso significa que contienen mayor cantidad de datos por mes. De forma de histograma se puede observar mayor cantidad de información en el último y primer trimestre del año, un reducido decremento se visualiza en los tiempos del segundo y tercer trimestre, el mes con menor cantidad de registros se observa como septiembre, donde se registraron entre 301 a 321 días.

Figura 56 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para Ozono en las 3 estaciones CFE



El inicio de monitoreo del contaminante ozono en las 3 estaciones fue en el transcurso del año 2012, por lo tanto, los datos mostrados en la Figura 56 se llevaron a cabo para registros de 2013 en adelante. La mayoría de los meses se presenta una distribución simétrica, aunque los meses con menor cantidad de registros se pueden observar cómo julio y noviembre. Al igual que el caso de otros contaminantes y sus registros vacíos, los reportes mostrados por CFE reportan fallas en analizadores o en datalogger.

Figura 57 Comportamiento de datos diarios registrados por meses, para material particulado en las 3 estaciones CFE

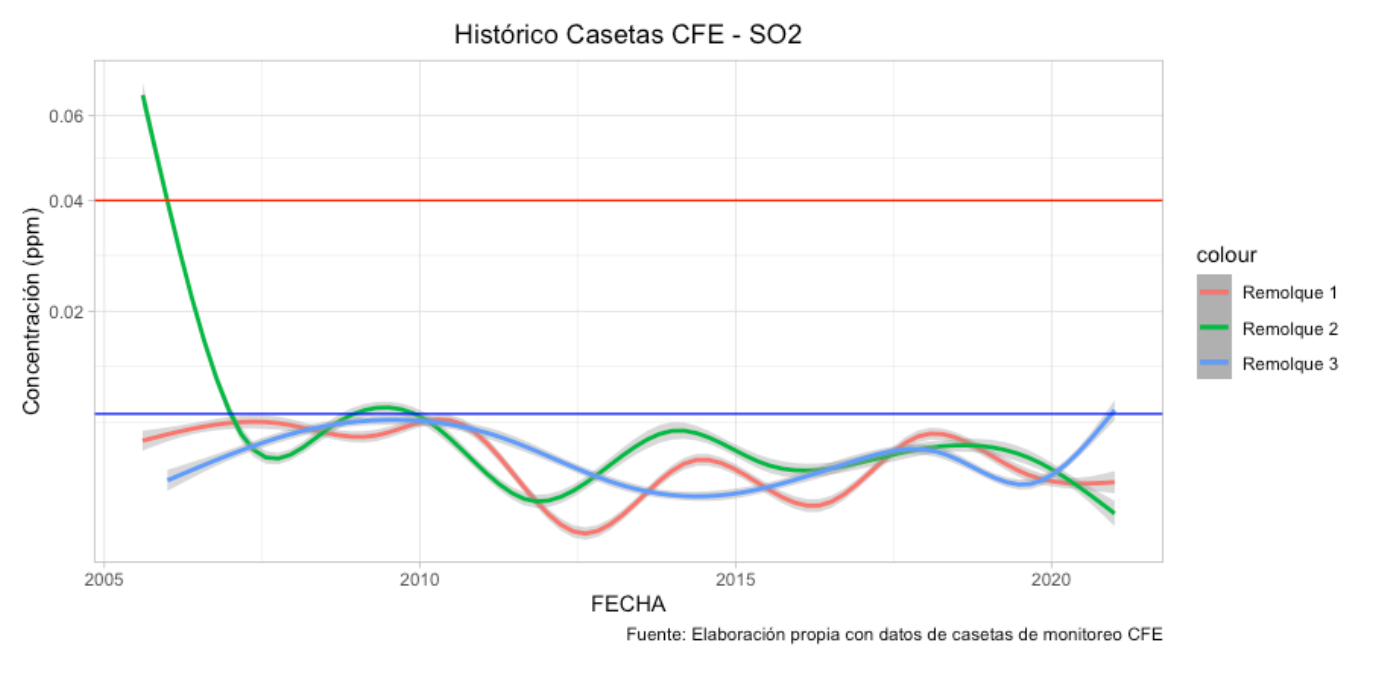


El contaminante con menos cantidad de información es el material particulado, esto debido a que en los primeros años se utilizaba un muestreo semanal, para el año 2016 empezaron la instalación de sensores automáticos. En la Figura 57 se observan la mayoría de meses cercanos al 100%, incluso algunos como marzo y octubre llegaron a cumplir con todos los registros del mes. En el apartado de series temporales anuales también se observó un mayor número de registros completos en comparación con los demás contaminantes. El mes de julio presenta la menor cantidad de datos, aunado a las causas comunes existen varios mantenimientos y cambios de analizadores que se realizan en el mes de julio.

3.3.6 Análisis de tendencia

Una vez comparado los resultados del monitoreo con los lineamientos oficiales, queda analizar el comportamiento histórico de las estaciones en conjunto, esto con el fin de encontrar tendencias en los contaminantes o las áreas más perjudicadas por la mala calidad del aire en la zona. Los valores graficados son la línea de tendencia de los promedios diarios procesados dentro de la serie temporal iniciada desde el año 2005, para el caso de PM10 desde el año 2008, esto con un intervalo de confianza de 95%.

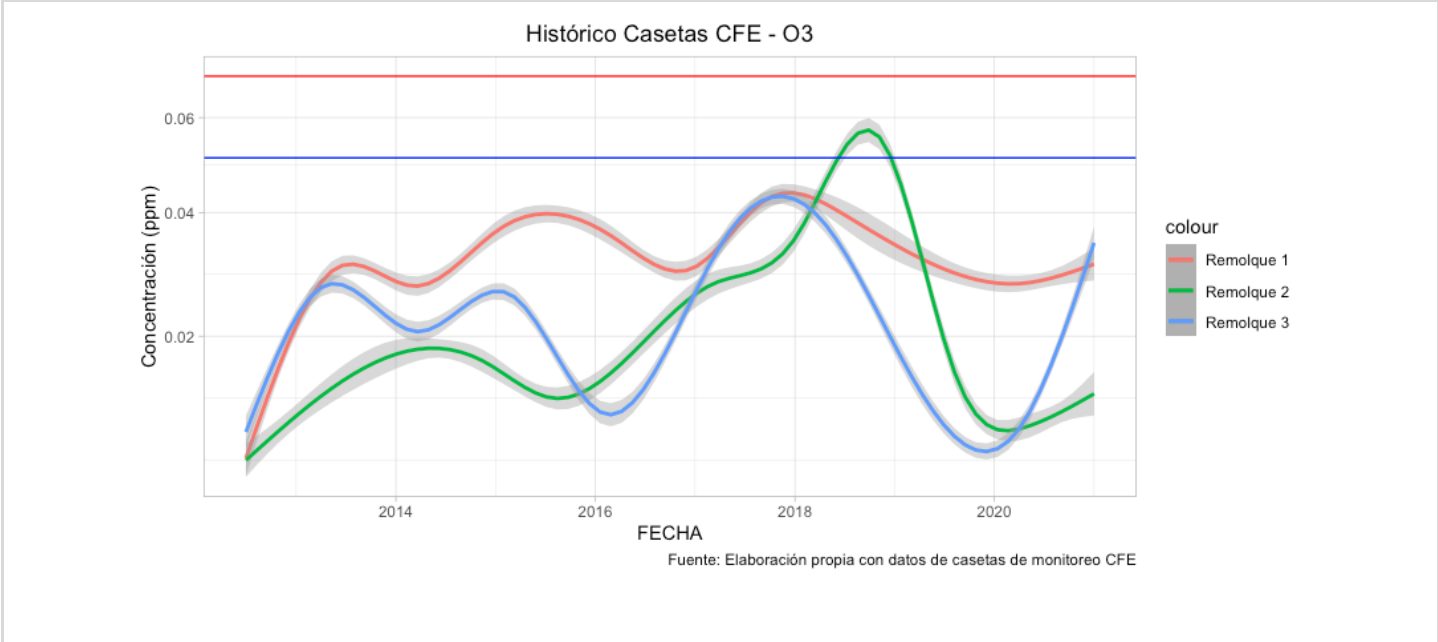
Figura 58 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de azufre en las 3 estaciones CFE



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-022-SSA1-2019 dado en promedios diarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

En la Figura 58 se puede observar la tendencia del dióxido de azufre en el transcurso de 15 años, al inicio de las mediciones se registraron valores altos en Remolque 2, sin embargo se normalizo en el transcurso de unos años, aunque los valores suavizados se mantienen constantes por debajo de las recomendaciones internacionales, habrá que aclarar que existieron valores máximos que si sobrepasan la recomendación internacional, incluso algunos valores atípicos que sobrepasaron la NOM en las 3 estaciones de monitoreo.

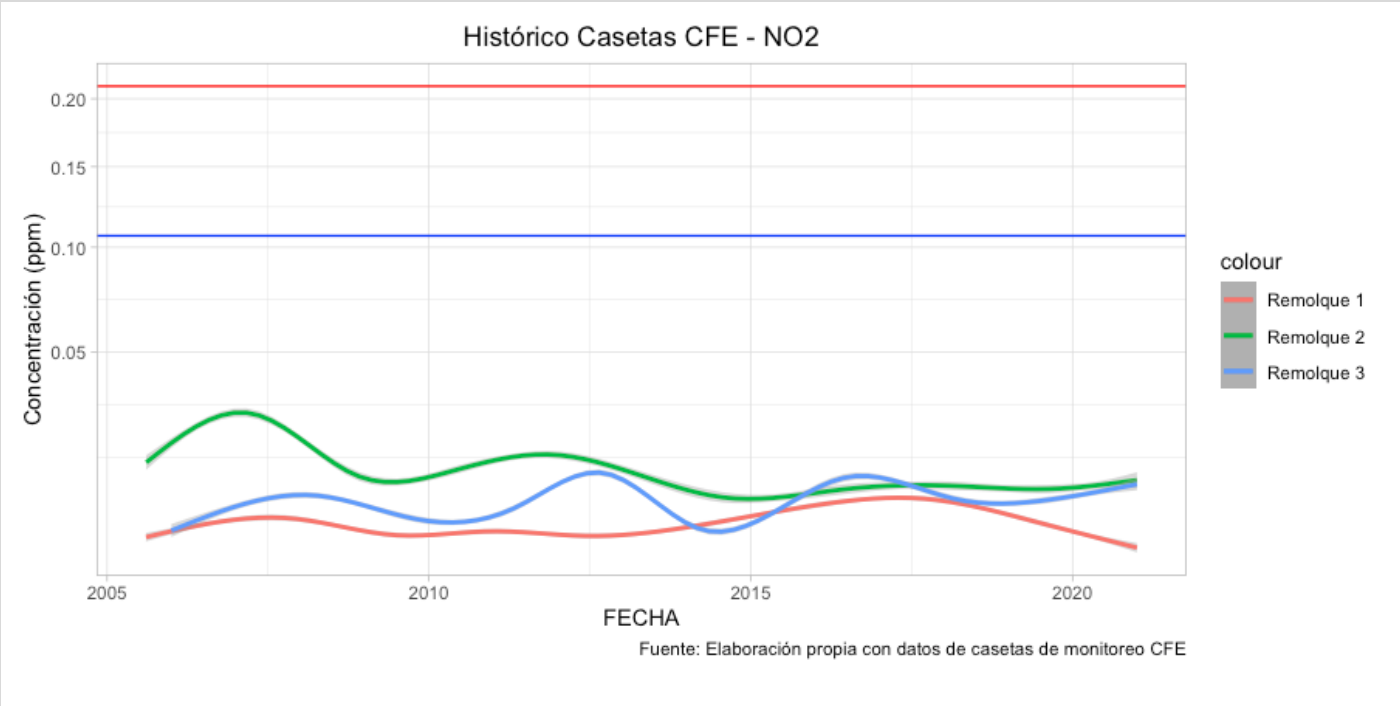
Figura 59 Comportamiento de promedios diarios por año, para Ozono (O3) en las 3 estaciones CFE



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-020-SSA1-2014 dado en promedios móviles de 8 horas. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

El contaminante Ozono no se mostró en tablas anteriores al no poder cuantificar sus valores que sobrepasaron los límites, debido a que la normatividad indica necesario contar con promedios móviles de 8 horas, sin embargo, la Figura 59 sirve para observar el comportamiento del contaminante, las líneas de tendencia se obtuvieron a partir de promedios diarios y las líneas de referencia horizontales serían para promedios móviles. Se puede observar un incremento para el remolque 2 que tuvo un cambio a mediados de 2019, para el caso de 2020 se observa una tendencia positiva en remolque 2 y 3.

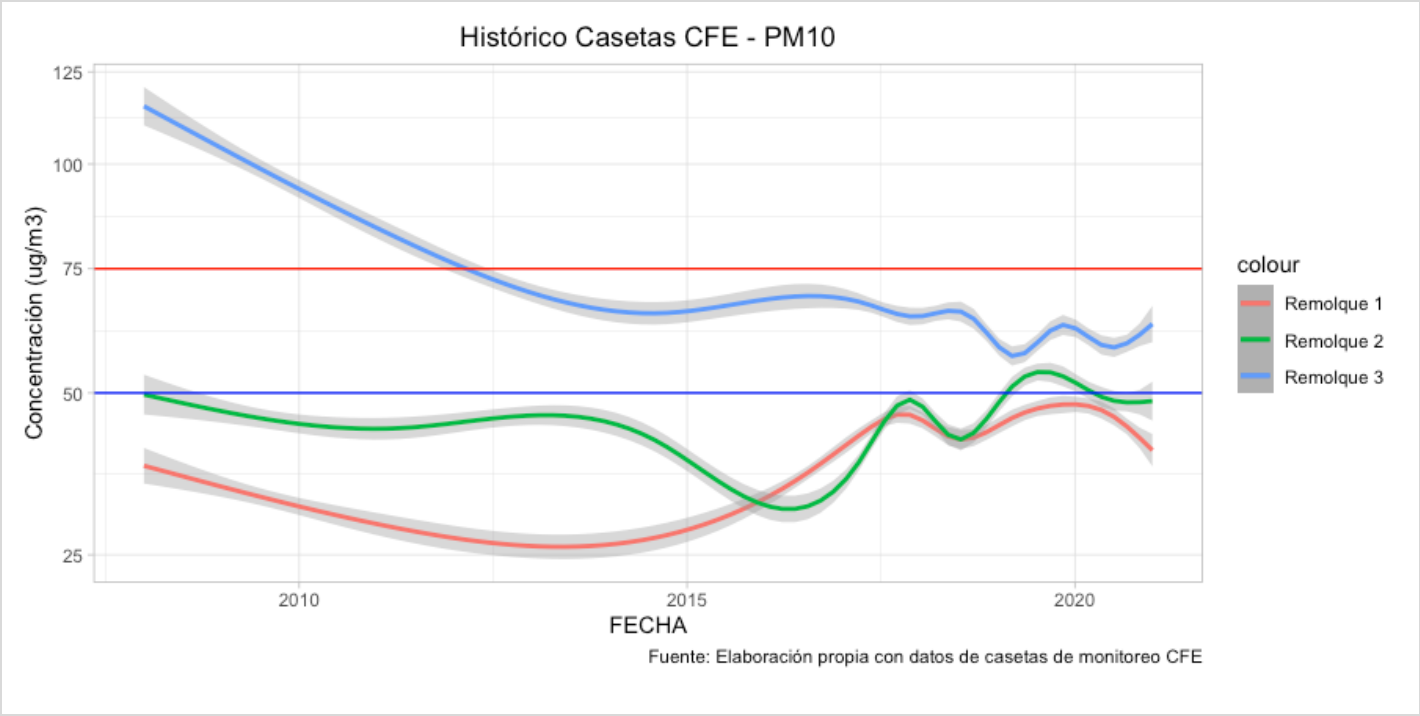
Figura 60 Comportamiento de promedios diarios por año, para dióxido de nitrógeno



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-023-SSA1-1993 dado en promedios horarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

El caso de dióxido de nitrógeno no se utilizaron las tablas anteriores para poder evaluar su incumplimiento, esto debido a que la normatividad indica su metodología en promedios horarios, sin embargo, en Figura 60 se observa el comportamiento de las mediciones, al contrario de otros contaminantes los valores se encuentran con niveles bajos en comparación con líneas de referencia nacionales e internacionales.

Figura 61 Comportamiento de promedios diarios por año, para Partículas PM10



NOTA: Se utiliza una línea continua "-----" para el valor máximo recomendado por la NOM-022-SSA1-2019 dado en promedios diarios. La línea continua "-----" marca la recomendación internacional (WHO, 2005)

En las 3 estaciones de monitoreo se presentaron incumplimientos en los límites permisibles con el contaminante PM10, aunque la Figura 61 muestra sólo la tendencia de las mediciones sin sobrepasar en gran medida los límites, se observa una línea de tendencia con niveles altos para los 3 remolques. Específicamente el remolque 3 presenta una pendiente negativa y el caso de remolque 1 y 2 presentan una tendencia positiva que sigue aumentando en años más cercanos.

3.3.7 Estudios oficiales

Como se mencionó anteriormente en el apartado 1, no se cuenta con información en tiempo real sobre el monitoreo realizado por Comisión Federal de Electricidad y sus tres casetas de monitoreo, sin embargo, por medio de herramientas de transparencia se obtuvo un estudio oficial del análisis de dispersión de contaminantes (CFE, 2020), en dicho documento se analizó el impacto de calidad del aire por emisiones desde la Central de Combustión Interna Baja California Sur (CCI B.C.S.) con la instalación de nuevas unidades móviles eléctricas, así como los resultados obtenidos de las casetas de monitoreo en el segundo semestre del año 2019.

Las 3 estaciones de monitoreo cuentan con equipos de medición de SO2, NOx y O3, así mismo, se cuenta con un equipo manual que miden partículas de menor tamaño o igual a 10 micras (PM10), las ubicaciones se muestran en la Figura 46 ,para el estudio oficial no se realizaron comparaciones con Ozono. Los resultados mostrados en la Tabla 29 muestran el valor presentado como promedio en el estudio de dispersión, así como el límite de la Norma Oficial Mexicana, se añadió una columna para el valor máximo en los promedios diarios obtenidos a través de procesamiento propio.

Tabla 29 Elaboración propia a través de: "Análisis de Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera de cuatro unidades móviles eléctricas a instalarse en la CCI B.C.S."

# Estación	Nombre	Contaminante	Valor promedio CFE (ug/m3)	Valor Máximo (ug/m3)	Norma Oficial (ug/m3)
1	Escuela Secundaria Técnica No. 3	NOx	8.77	22.6	395
		SO2	7.86	44.5	104.8
		PM10	46.84	73.08	75
2	Centro de Salud	NOx	39	105.4	395
		SO2	5.24	36.7	104.8
		PM10	55.4	74.76	75
3	Esc. Primaria Emma Isabel Osuna	NOx	23.18	111	395
		SO2	7.42	7.9	104.8
		PM10	62.44	80	75

Fuente: (CFE,2020).

NOTA: Normas utilizadas: NOM-023-SSA1-1993 (NOx) promedio horario, NOM-022-SSA1-2019 (SO2) promedio diario, NOM-025-SSA1-2014 (PM10) promedio diario.

El valor de CFE mostrado en la Tabla 29 es un promedio de las mediciones obtenidas en el transcurso de todo el 2do semestre 2019, en cambio el valor máximo mostrado se calculó ordenando de forma ascendente los promedios diarios obtenidos en el mismo rango de tiempo. El uso de cada norma es diferente a otra, para el caso de NOx el analizar los límites permisibles con los valores medidos requiere el procesamiento en promedios horarios y proseguir con la metodología oficial, el caso de SO2 y PM10 requiere analizar los valores diarios obtenidos en una serie de tiempo y comparar de forma individual con los límites establecidos, por último cabe mencionar que el comparar con Normas Oficiales Mexicanas requiere un histórico de un año o inclusive 3 años consecutivos en el caso de SO2, esto para poder observar el comportamiento de los contaminantes ya que las temporadas del año llegan a modificar la distribución de contaminación.

El estudio realizado por CFE utilizó la herramienta AERMOD para el modelo de dispersión, dicho proyecto sólo considera las emisiones por parte de CCI B.C.S. realizando 4 escenarios especializados para los contaminantes: óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y bióxido de azufre, este último con una variación del porcentaje de azufre en el diésel. En sus resultados mostrados se presentó una comparación de los límites permisibles ahora con la suma del valor estimado por la emisión de la planta de generación eléctrica, para esto no se contó con comparación del remolque 1 a diferencia de la tabla anterior.

Tabla 30 Elaboración propia a través de: "Análisis de Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera de cuatro unidades móviles eléctricas a instalarse en la CCI B.C.S."

# Estación	Nombre	Contaminante	Valor promedio CFE (ug/m3)	Valor Máximo (ug/m3)	Valor estimado (ug/m3)	Suma (ug/m3)		Norma Oficial (ug/m3)
						CFE	Máximo	
2	Centro de Salud	NOx	39	105.4	43.9	82.9	197.9	395
		SO2	5.24	36.7	10	15.24	46.7	104.8
		PM10	55.4	74.76	0.5	55.91	75.26	75
3	Esc. Primaria Emma Isabel Osuna	NOx	23.18	111	33.7	56.88	144.7	395
		SO2	7.42	7.9	8.7	16.12	16.6	104.8
		PM10	62.44	80	0.2	62.64	80.2	75

Fuente: (CFE,2020).

NOTA: Normas utilizadas: NOM-023-SSA1-1993 (NOx) promedio horario, NOM-022-SSA1-2019 (SO2) promedio diario, NOM-025-SSA1-2014 (PM10) promedio diario.

De igual manera que se presentó por CFE (2020) se realizó la Tabla 30 añadiendo una columna para una suma entre los valores máximos diarios obtenidos con el valor estimado por el modelo de dispersión.

3.3.8 Discusión

El procesamiento y análisis de información tiene diferentes formas de realizarse, sin embargo, al haber diversos estudios sobre los efectos en la salud que provocan los contaminantes criterio, se han desarrollado de forma especializada las Normas Oficiales Mexicanas, las cuales establecen como debemos procesar nuestros datos. Haciendo referencia al apartado de estudios oficiales, cabe aclarar que el uso de cada norma es diferente a otra, para el caso de NOx los valores mostrados no se pueden evaluar como la metodología normada establece, para comparar directamente se necesitan los promedios horarios acomodados de forma ascendente y revisar los valores máximos.

Por otro lado, el valor de la NOM para SO2 es establecido en un promedio de 24 horas, es decir, un límite para los promedios diarios obtenidos en una serie de tiempo, igual es el caso de PM10 y su normativa, por lo tanto, un promedio histórico no alineado a la metodología uso en el estudio de dispersión. Cabe mencionar que, para la mayoría de los contaminantes, se necesita al menos analizar un año de información, o incluso en algunos casos se necesita analizar 3 años consecutivos, buscando valores máximos con herramientas estadísticas. Aún en la Tabla 30 al sumarse el valor calculado por el software AERMOD se ven muy diferente los datos promedio con los valores máximos, en algunos casos el valor presentado por CFE (2020) no sobrepasa los límites y el valor máximo sí.

A diferencia de otras redes de monitoreo, se cuenta con información sólo de un periférico de la ciudad, y esta información llega a estar incompleta en términos de normatividad y poder evaluar su cumplimiento, tal y como se mostró en el apartado de evaluación de ausencia de información, de igual manera en la mayoría de los estudios se realiza el análisis y procesamiento con promedios horarios que muestren tendencias y más importante, poder evaluar todos los contaminantes criterio.

3.3.9 Conclusión

Desde la instalación y puesta en operación de las 3 casetas de monitoreo CFE sin excepción se han encontrado metodologías de tratamiento de datos no apropiadas a las Normas Oficiales Mexicanas, por un lado, se cuenta con la mayoría de los contaminantes criterio siendo monitoreados, sin embargo, no se cuenta con los promedios necesarios para una evaluación en nivel salud. Las técnicas de procesamiento de datos deben ser renovadas para contar con promedios que permitan una mejor evaluación de las condiciones medioambientales de la zona urbana. De igual manera en materia de la operación del sistema, se debe mejorar la constancia de monitoreo evitando fechas sin monitoreo; algunas herramientas quizás de interoperabilidad mejorarán el acceso a la información.

Se notó un problema con altos niveles de material particulado de 10 micras, para ningún año con datos válidos se obtuvo un promedio anual que cumpliera con la NOM-025-SSA1-2014, analizando los valores con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud se sobrepasa de forma más alarmante. Inclusive en la caseta 3 ubicada cerca de la Central de Combustión Interna (CCI) B.C.S. se notaron los valores más altos, sobrepasando los límites permisibles como mínimo 4 promedios diarios al año entre 2008-2020. Para el caso de las medias anuales, se obtuvieron incumplimientos en las 3 casetas de monitoreo durante los años 2017, 2018, 2019 y 2020, es decir, en todos los años que se ha contado con monitoreo automático.

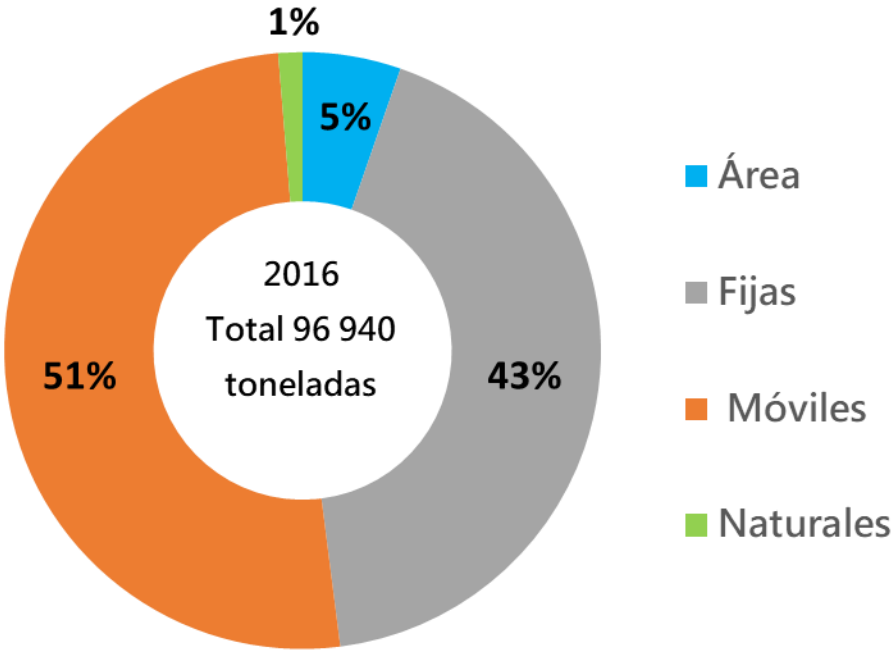
Un contaminante preocupante es el Ozono al mostrar una línea de tendencia cercana a los valores permisibles, si se pudiera procesar en promedios móviles se podría evaluar si sus valores están incumpliendo la norma. Como última recomendación se observó diferentes comparaciones entre los oficiales y el presente, se hace un énfasis en no olvidar el funcionamiento de las NOM' s y sus lineamientos establecidos generalmente en los valores máximos obtenidos que se presentan en el año para todos los contaminantes. Concluyendo un comportamiento preocupante en presente y futuro, se recomienda continuar con las medidas establecidas por el ProAire (LT Consulting, 2018) dentro de las cuáles se recomienda contar con un sistema de monitoreo de calidad del aire robusto y confiable.

Anexos

4 Anexos

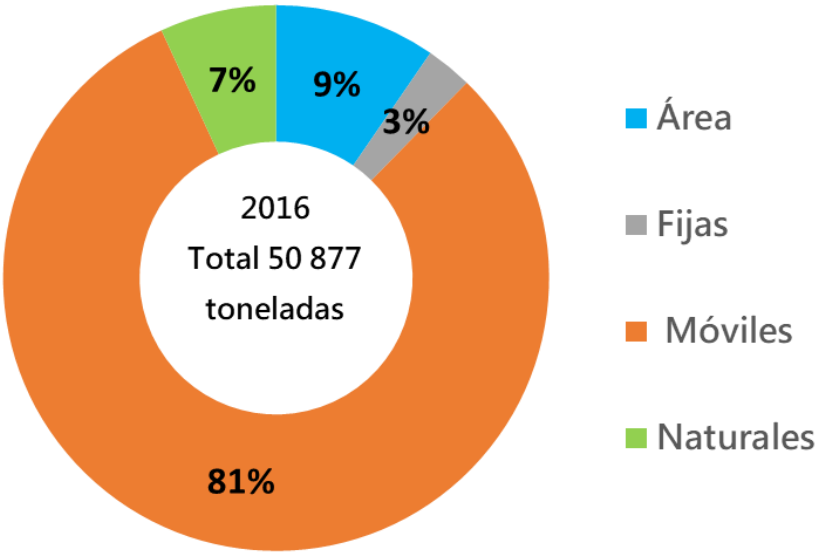
En la Ilustración 1 se muestra las emisiones de contaminantes criterio totales (96,940.00 toneladas) en el municipio de La Paz en 2016, así como el porcentaje de participación por tipo de fuente contaminante, apreciando que el 51% de las emisiones totales son derivadas de las fuentes móviles indicando que fue la fuente más contaminante para este año.

Ilustración 1 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en el municipio de La Paz 2016



Por su parte, la Ilustración 2 muestra las emisiones por contaminantes criterio totales (50,877.00 toneladas) en el municipio de Los Cabos en 2016, así como el porcentaje de participación por tipo de fuente contaminante, apreciando que el 81% de las emisiones totales son derivadas de las fuentes móviles, indicando que fue la fuente más contaminante para este año.

Ilustración 2 Emisiones por contaminantes criterio por tipo de fuente en el municipio de Los Cabos 2016



En la Tabla A 1 se muestran las emisiones por contaminantes criterio desagregadas por tipo de contaminante desde el año 2013 a 2019 emitidas por la generación de electricidad en el municipio de La Paz.

Tabla A 1 Emisiones eléctricas emitidas por la Central Termoeléctrica y Central de Combustión Interna en La Paz

Contaminante	Inventario 2013	INEM 2016	CERCA 2018	CERCA 2019
PM_{10}	839.17	1216.05	1296.63	1175.26
$PM_{2.5}$	283.82	666.89	431.49	393
SO_2	14344.51	22991.23	23674.09	22015.65
CO	2581.76	2899.07	3927.92	3555.56
NO_X	12480.72	13497.93	19012.65	17342.96
TOTAL	**30529.98**	**41271.16**	**48342.78**	**44482.44**

Ilustración 3 Potencia instalada por tecnología en La Paz 2019

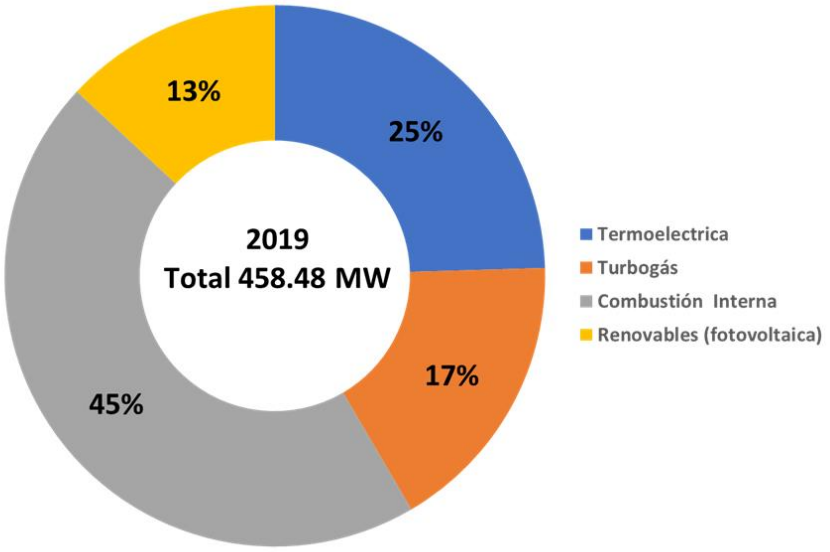


Ilustración 4 Potencia instalada por tecnología en La Paz 2020

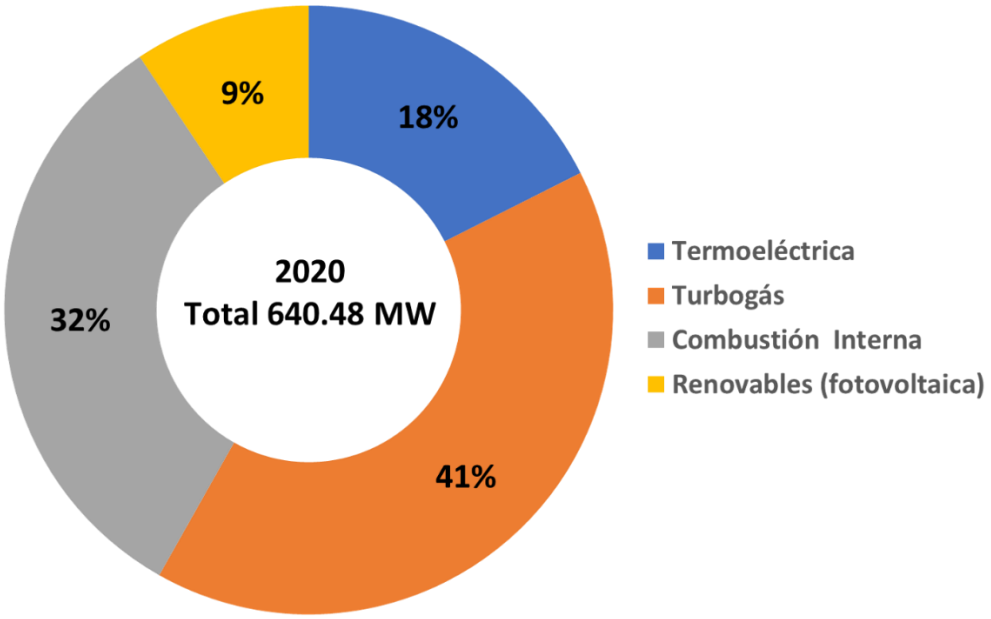


Ilustración 5 Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. 2019

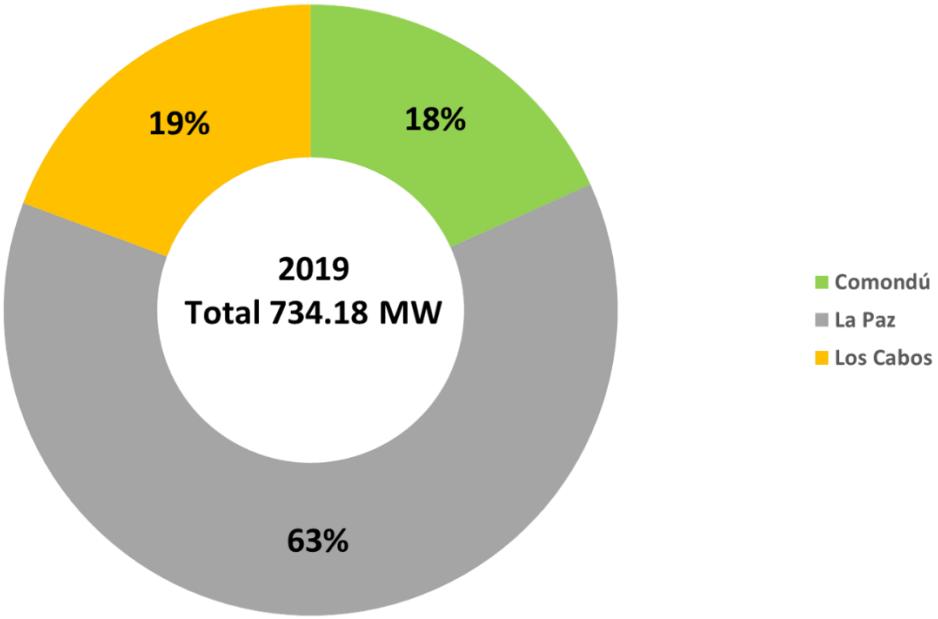
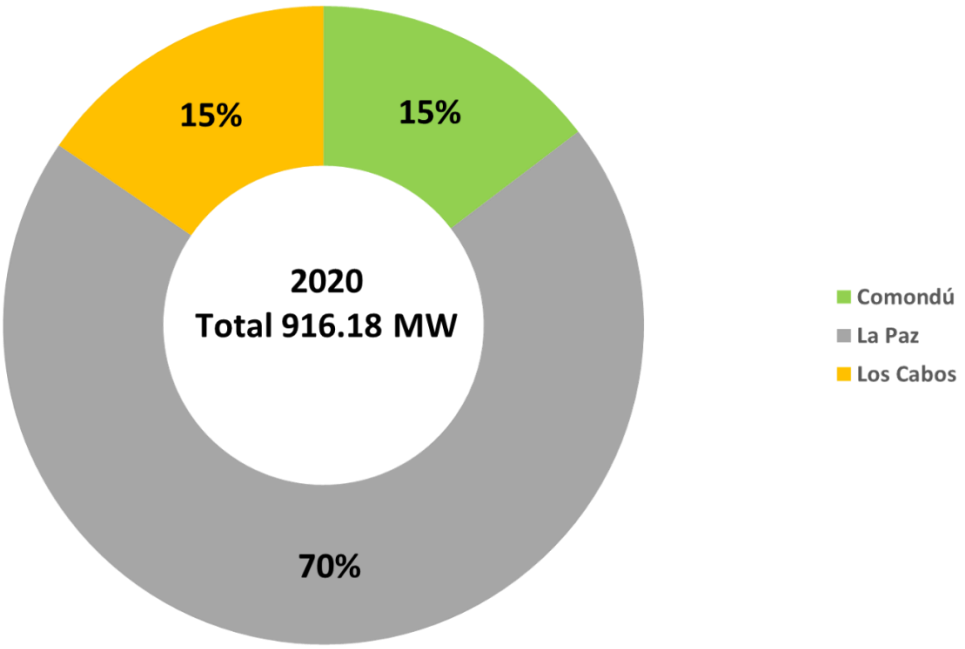
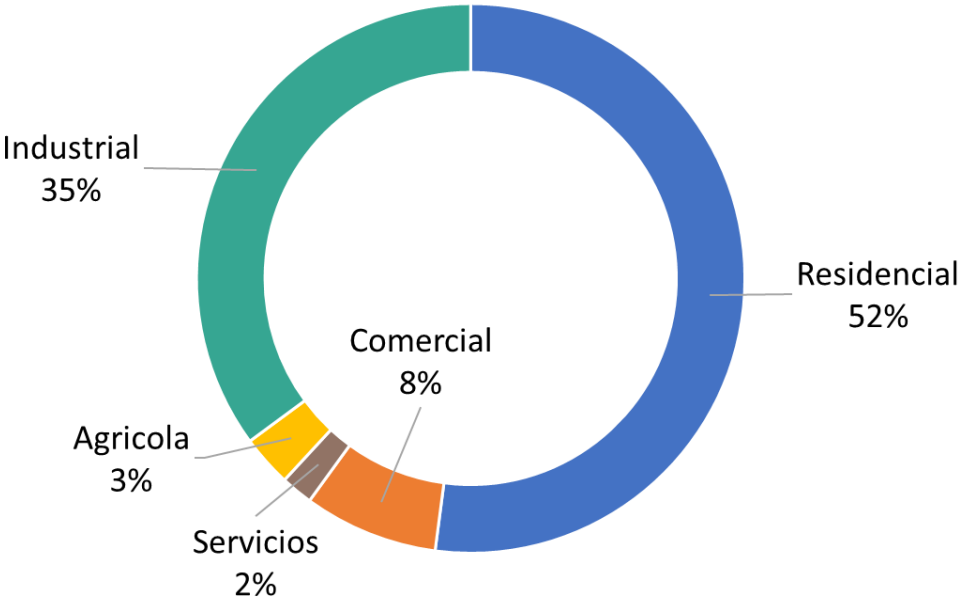


Ilustración 6 Potencia por municipio en el sistema eléctrico B.C.S. 2020



La Ilustración 7 muestra las ventas de energía eléctrica en 2020 por sector tarifario en el municipio de La Paz, demostrando que el sector residencial fue la actividad que representó el mayor porcentaje de las ventas con un 52%, el sector industrial represento el 35%.

Ilustración 7 Ventas de energía por sector en el municipio de La Paz 2017



Por su parte la Ilustración 8 muestra las ventas de energía eléctrica en 2020 por sector tarifario en el municipio de Los Cabos, demostrando que al igual que en el municipio de La Paz, el sector industrial es la actividad con el mayor porcentaje de las ventas con el 55% de las mismas.

Ilustración 8 Ventas de energía por sector en el municipio de Los Cabos 2017

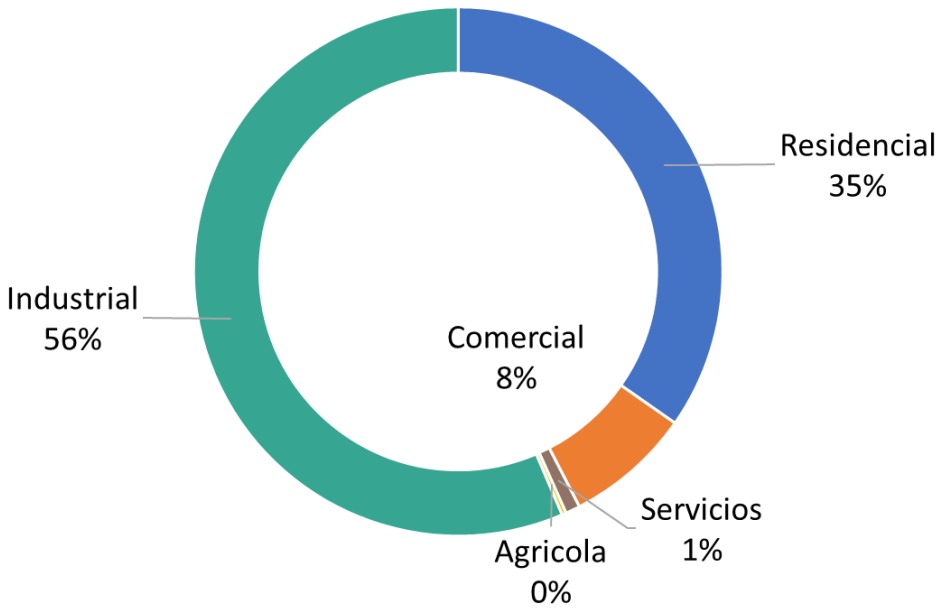
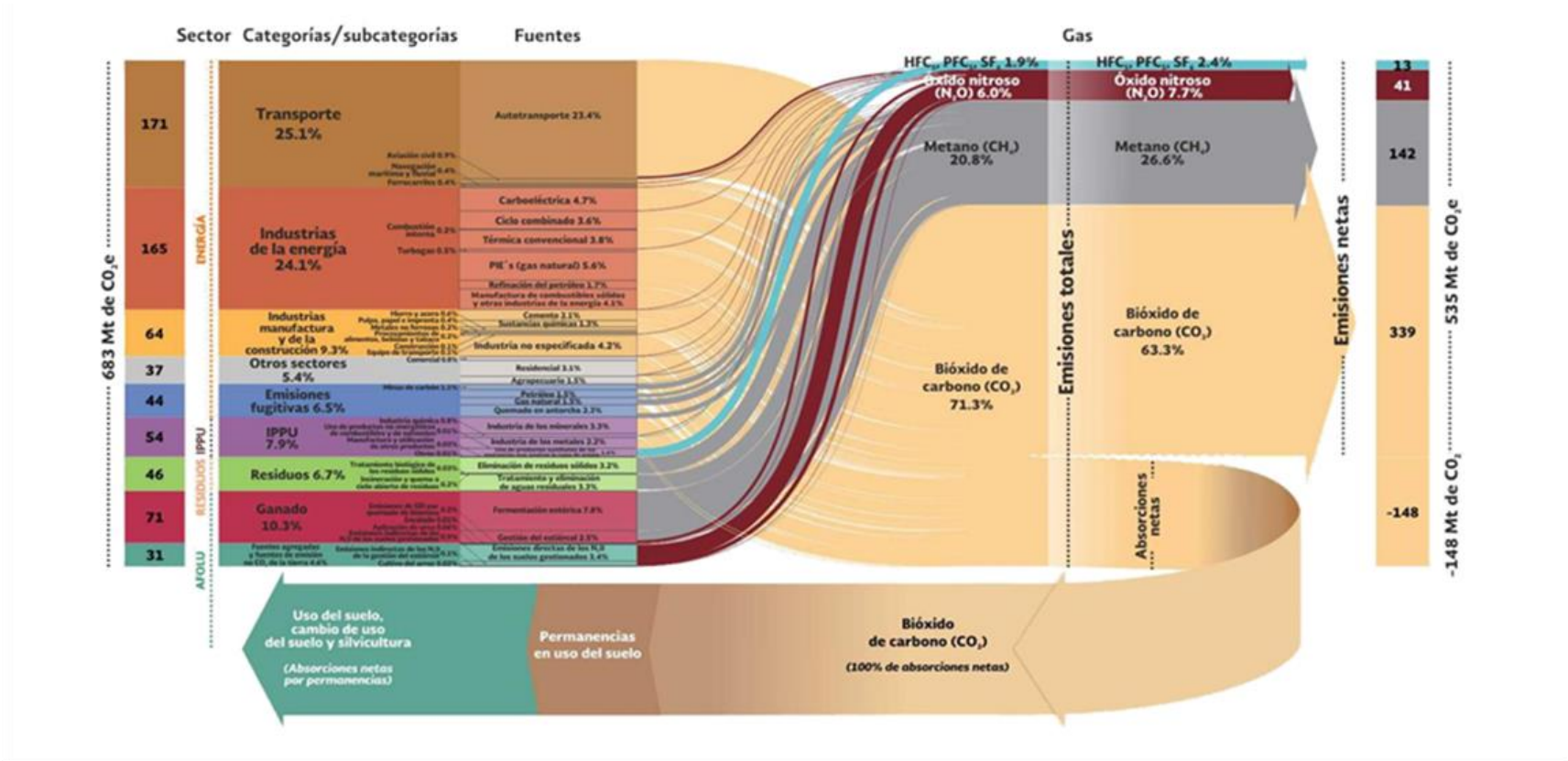


Ilustración 9 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015



Fuente: Fuente: INECC. (2015). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311180/Imagen_INEGYCEI_2015.pdf

Tabla A 2 Potencia instalada en MW por central en el estado de Baja California Sur marzo 2020

Sistema Mulegé	
Central	Potencia Instalada
CCI Guerrero Negro II	65.36
CTG Vizcaíno	SI
CG Tres Vírgenes	10
CSF Santa Rosalía	1
CCI Santa Rosalía	43.18
Total	119.54
Sistema B.C.S.	
Aura Solar	55
CCI Gral. Agustín Olachea Avilés	104
CTG Constitución	30
CCI Baja California Sur	235
CT Punta Prieta y TG La Paz	155
CTG Los Cabos	177
Total	757

Fuente: Presentación CENACE 01/07/2020

Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/08/Datos-CENACE-01_07_2020.pdf

Tabla A 3 Potencia instalada por central en el estado de Baja California Sur 2014-2019

Central	Tipo de Combustible	2014 Generación Bruta (MWh)	2015 Generación Bruta (MWh)	2016 Generación Bruta (MWh)	2017 Generación Bruta (MWh)	2018 Generación Bruta (MWh)	2019 Generación Bruta (MWh)
CCI Guerrero Negro II	Diesel	52,210	54,562	51,701	69,779	78,779	62,444
CTG Vizcaíno	Combustóleo/Diesel	16,187	8,515	3,602	552	11	0
CG Tres Vírgenes	No consume combustibles fósiles	51,068	47,976	53,636	47,080	47,553	55,168
CSF Santa Rosalía	No consume combustibles fósiles	2,041	2,034	2,161	2,025	1,994	1,798
CCI Santa Rosalía	Diesel	11,250	8,902	3,003	10,306	14,110	20,229
CCI Gral. Agustín Olachea Avilés	Combustóleo/Diesel	564,772	607,225	614,967	576,353	633,909	508,837
CTG Constitución	Diesel	24,533	1,960	2,339	8,358	5,846	42,552
CCI Baja California Sur	Combustóleo	761,484	1,022,666	1,153,927	1,174,736	1,203,077	1,066,255
CT Punta Prieta y TG La Paz	Combustóleo/Diesel	585,937	558,680	535,365	500,114	543,142	640,124
CTG Los Cabos	Diesel	145,131	20,124	37,258	52,459	56,032	110,307
	TOTAL	2,214,611	2,332,644	2,457,960	2,441,764	2,584,454	2,507,714

Fuente: Solicitud de transparencia por plataforma INFOMEX con folio No. 1816400095920
Solicitud INFOMEX (información pedida)

Tabla A 4 Generación de energía eléctrica en el estado de Baja California Sur por tipo de tecnología en el año 2019

Fuente	Generación Bruta (MWh)	Porcentaje de Participación en B.C.S. (%)
Combustión Interna	1 657 764	66%
Turbogás	199 719	8%
Renovables*	56 966	2%
Termoeléctrica	593 265	24%

Fuente: Solicitud de transparencia por plataforma INFOMEX con folio No. 1816400095920
*Las renovables incluye la Central Solar Fotovoltaica en Santa Rosalía y Central Geotérmica 3 Vírgenes, pero excluye Aura Solar localizada en La Paz por falta de información.

Tabla A 5 No. Usuarios del servicio de energía eléctrica por tipo de servicio en B.C.S (2015-2017)

Servicio	2015	2016	2017
Industria	3695	3713	3928
Comercial	31937	32832	33923
Agrícola	1140	1157	1180
Residencial	236909	244364	253945
Alumbrado Público	1649	1810	1935
Bombeo de Agua Potable y Aguas Negras	316	325	319
Temporal	12	5	8

Fuente: Anexo Estadístico y Gráfico. 3er Informe de Gobierno. Baja California Sur 2015-2021.
Disponible en: http://www.bcs.gob.mx/documentos/3er-Informe-Anexo-Grafico-Estadistico-OptimizadoWeb.pdf

Tabla A 6 Volumen de ventas de energía eléctrica por tipo de servicio en B.C.SUR en MWh (2015-2017)

Sector	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Doméstico	704,298	727,828	763,752	825,333	849,427	943,516
DAC	51,503	57,616	56,840	57,458	56,526	48,892
Comercial	188,432	196,667	203,033	195,972	196,951	188,122
Servicios	32,345	35,143	33,283	34,698	33,681	33,534
Agrícola	162,505	186,128	187,353	206,129	197,952	206,567
Mediana Industria	936,350	1,008,146	1,015,127	1,138,132	1,165,203	984,412
Gran Industria	128,145	133,784	110,418	106,677	103,070	88,270
Total	2,203,578	2,345,312	2,369,807	2,564,399	2,602,809	2,493,313

Fuente: CFE (2021). Ventas de energía eléctrica por municipio y por sector tarifario en el estado de BCS del año 2015 a 2020. Disponible en: Solicitudes de transparencia – CERCA

Tabla A 7 Volumen de ventas de energía eléctrica por municipio en B.C.S. en MWh (2015-2017)

Municipio	2015	2016	2017	2018	2019	2020
La Paz	790,456	812,431	792,707	815,035	795,021	798,489
Los Cabos	990,903	1,091,469	1,125,858	1,274,360	1,336,200	1,201,993
Comondú	244,584	261,486	265,301	286,836	280,140	295,749
Loreto	57,209	59,491	63,826	64,408	66,471	67,351
Mulegé	120,427	120,435	122,115	123,760	124,975	129,731
Total	2,203,578	2,345,312	2,369,807	2,564,399	2,602,809	2,493,313

Fuente: CFE (2021). Ventas de energía eléctrica por municipio y por sector tarifario en el estado de BCS del año 2015 a 2020. Disponible en: Solicitudes de transparencia – CERCA

Sistema Eléctrico B.C.S.

Tabla A 8 Potencia instalada por central en el sistema B.C.S. (MW) reportada por CENACE para el año 2019

Central	Potencia instalada
Aura Solar	55
CCI Gral. Agustín Olachea Avilés	104.1
CTG Constitución	30
CCI Baja California Sur	235.6
CT Punta Prieta y TG La Paz	155.5
CTG Los Cabos	177.6
Total	757

Fuente: Presentación CENACE 01/07/2020
Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/08/Datos-CENACE-01_07_2020.pdf

Tabla A 9 Potencia instalada por tipo de tecnología en el sistema eléctrico B.C.S. 2019

Tecnología	Potencial
Combustión Interna	339 MW
Turbo Gas	250 MW
Vapor	113 MW
Solar Fotovoltaica	55 MW
Total	757 MW

Fuente: Elaboración propia con datos de Presentación CENACE 01/07/2020
Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/08/Datos-CENACE-01_07_2020.pdf

Tabla A 10 Generación de energía por tipo de tecnología en el sistema eléctrico B.C.S. 2019

Central	Generación Bruta (MWh)
Combustión Interna	1 575 092
Turbo Gas	199 718
Termoeléctrica	593 265
Solar Fotovoltaica	SID*
TOTAL	2,368,075

Fuente: Solicitud de transparencia por plataforma INFOMEX con folio No. 1816400095920

*Sin información disponible.

La Paz B.C.S.

Tabla A 11 Potencia instalada y generación de energía eléctrica por central en el municipio de la paz año 2019

Central	Potencia instalada (MW)	Generación Bruta (MWh)
Aura Solar	55.00	SI*
CCI Baja California Sur	235.6	1 066 255
CT Punta Prieta	155.6	640 124
TOTAL	446.1	1 706 379

Fuente: Presentación CENACE 01/07/2020 y Solicitud de transparencia por plataforma INFOMEX con folio No. 1816400095920
Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/08/Datos-CENACE-01_07_2020.pdf
*Sin información disponible

Tabla A 12 Toneladas de emisiones de contaminantes criterio* por central por año en el municipio de La Paz

Central	2013	2018	2019
CT Punta Prieta	3589	3800	4479
CCI B.C.S.	26958	44556	39489
Total	30546	48356	43968

*Se considera SO_2, NOx, CO, PM_{10}, $PM_{2.5}$ y COV
Fuente: Inventario de emisiones para la ciudad de La Paz, Baja California Sur 2016 y cálculos propios con Cédulas de Operación Anual de las centrales.
Inventario disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/Inventario-de-emisiones-La-Paz-Informe-final.pdf

Tabla A 13 Usuarios del servicio de energía eléctrica en La Paz (2015-2017)

Servicio	2015	2016	2017
Industrial	1315	1178	1225
Comercial	11595	11811	12105
Agrícola	251	251	263
Residencial	96430	99072	102428
Alumbrado Público	728	765	803
Bombeo de agua potable y aguas negras	90	97	97
Temporal	10	3	3
Total	110419	113177	116924

Fuente: Anexo Estadístico y Gráfico. 3er Informe de Gobierno. Baja California Sur 2015-2021.
Disponible en: http://www.B.C.S..gob.mx/documentos/3er-Informe-Anexo-Grafico-Estadistico-OptimizadoWeb.pdf

Tabla A 14 Volumen de ventas de energía eléctrica por servicio en el municipio de La Paz en MWh (2015-2017)

Servicio	2015	2016	2017
Industrial	345.522952	351.271536	321.156491
Comercial	68.195059	69.632094	70.772935
Agrícola	17.383815	22.236414	22.657459
Residencial	321.148362	327.663497	338.403675
Alumbrado Público	12.35346	15.193273	14.246262
Bombeo de agua potable y aguas negras	25.808194	26.401643	25.339482
Temporal	0.044058	0.032827	0.014922
TOTAL	790.4559	812.431284	792.591226

Fuente: Anexo Estadístico y Gráfico. 3er Informe de Gobierno. Baja California Sur 2015-2021.
Disponible en: http://www.B.C.S..gob.mx/documentos/3er-Informe-Anexo-Grafico-Estadistico-OptimizadoWeb.pdf

5 Referencias

Amorim, F. A. C., Welz, B., Costa, A. C. S., Lepri, F. G., Vale, M. Goreti. R., & Ferreira, S. L. C. (2007). Determination of vanadium in petroleum and petroleum products using atomic spectrometric techniques. Talanta, 72(2), 349-359. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.12.015

Aymeé María Herrera, & Villarreal, D. (2018). MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN INSTALACIONES UBICADAS EN ECOSISTEMAS COSTEROS (CAYO SANTA MARÍA), CON SALIDAS CARTOGRÁFICAS. XI CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOMÁTICA 2020, Cuba. Disponible en: http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias2018/GEO089.pdf

Bermúdez C., A. (2016). Inventario de emisiones para la ciudad de La Paz, Baja California Sur. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/Inventario-de-emisiones-La-Paz-Informe-final.pdf

CENACE. (2020). Presentación CENACE. Obtenido de https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2020/08/Datos-CENACE-01_07_2020.pdf

CEMDA. (2017). Marco Jurídico de las Energías Renovables en Baja California Sur.

CERCA. (2020). Reporte técnico de concentración de contaminantes en la ciudad de La Paz, B.C.S. México. Obtenido de https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2021/03/Reporte-2020-calidad-del-aire_cerca-ACLIMA.docx.pdf

CFE (2020). Estudio de dispersión de emisiones a la atmósfera, cuatro unidades móviles eléctricas a instalarse en la CCI B.C.S. Gerencia de Protección Ambiental.

CFE. (2020a). Generación de energía eléctrica por central en el estado de Baja California Sur años 2014-2020. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/solicitudes-de-transparencia/

CFE. (2019c). Análisis químico de Combustóleo que se utiliza en las Centrales de CFE en La Paz, B.C.S. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/solicitudes-de-transparencia/

CFE. (2020d). Apagones y usuarios afectados en el estado de B.C.S. en el año 2019. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2021/01/0968-OF.pdf

CFE. (2019b). Boletín de prensa: Reforzará la Comisión Federal de Electricidad la infraestructura de generación eléctrica en Baja California Sur. Disponible en: https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=1407

CFE. (2020g). Cédula de Operación Anual Central de Combustión Interna B.C.S. 2018. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/solicitudes-de-transparencia/

CFE. (2020h). Cédula de Operación Anual Central de Combustión Interna B.C.S. 2019. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2021/02/Respuesta-CFE-2020-No.-De-Folio-1816400253320.-Cedula-de-Operacion-Anual-COA-de-La-Central-de-Combustion-Interna-B.C.S.-CCI-2019.pdf

CFE. (2020e). Cédula de Operación Anual Central Termoeléctrica Punta Prieta 2018. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/solicitudes-de-transparencia/

CFE. (2020f). Cédula de Operación Anual Central Termoeléctrica Punta Prieta 2019. Disponible en: https://www.cerca.org.mx/wp-content/uploads/2021/02/Respuesta-CFE-2020-No.-De-Folio-1816400253420-Cedula-de-Operacion-Anual-COA-de-La-Central-Termoelectrica-Punta-Prieta-2019.pdf

CFE. (2020). Solicitud de Transparencia 1816400095920. México.

CFE. (2021). Ventas de energía eléctrica por municipio y por sector tarifario en el estado de B.C.S. del año 2015-2020.

CONAGUA. (2017). Vulnerabilidad Social, Económica y Ambiental por municipio.

CONAPO. (2015). Proyecciones de la Población de los Municipios de México. México.

CONUEE. (2018). Gobierno de México. Obtenido de https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016?state=published

CONUEE. (2018). Hoja de Ruta de Eficiencia Energética. Obtenido de https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/hoja-de-ruta-de-eficiencia-energetica?state=published

CRE. (2021). Glosario en Términos. Obtenido de https://www.cre.gob.mx//documento/Glosario.pdf

CRE. (2021). Preguntas frecuentes sobre la nueva regulación en temas eléctricos.

Edenhofer, O. (Ed.). (2015). Climate change 2014: Mitigation of climate change (Vol. 3). Cambridge University Press.

EPA. (2004). National Recommended Water Quality Criteria.

Fattorini, D., & Regoli, F. (2020). Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987), 264, 114732. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114732

Gobierno B.C.S.. (2015). Anexo Estadístico y Gráfico. Dispobile en: http://www.B.C.S..gob.mx/documentos/3er-Informe-Anexo-Grafico-Estadistico-HD.pdf

Gobierno de México. (2018 de 04 de 2018). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y combustibles más Limpios. Obtenido de https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016?state=published

Gobierno de México. (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030.

Herrera Cervantes, H., E., B., & E., B. (2017). Red de Monitoreo Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S, México: Vol. 3. 32-44. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2017.03.03.01.0003.

INECC. (2015b). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Periodo 2020-2030. Disponible en: https://www.gob.mx/inecc/documentos/compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-ante-el-cambio-climatico-para-el-periodo-2020-2030

INECC. (2015a). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.

INEGI. (2020). Población. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/#Tabulados

Lin, C.-Y. (2000). Influences of vanadium compound on burning characteristics of emulsified marine fuel oil C. Ocean Engineering, 27(6), 589-601. https://doi.org/10.1016/S0029-8018(99)00009-8

LT Consulting (2018). "Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California Sur 2018 - 2027". proAire.

Morales Ramos, A. C., Pérez Figueroa, M., Pérez Gallardo, J. R., & De León Almaraz, S. (2017). Energías renovables y el hidrógeno: Un par prometedor en la transición energética de México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 92-101.

Mukherjee, A. (2002). Perspectives of the Silent Majority: Air Pollution, Livelihood and Food Security. Concept Publishing Company.

NOM-025-SSA1-2014. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisible para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

NOM-020-SSA1-2014. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-020SSA1-2014. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

NOM-021-SSA1-1993. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (co). valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO).

NOM-022-SSA1-2019. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO2).

NOM-025-SSA1-2014. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisible para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

NOM-020-SSA1-2014. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-020SSA1-2014. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

NOM-021-SSA1-1993. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al Bióxido de Nitrógeno (NO2). Valor normado para la concentración de Bióxido de Nitrógeno (NO2) En el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-022-SSA1-2019. DOF, NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO2)

Ocampo, A. A. (2017). Impactos en la Calidad Del Agua que Abastece a la Ciudad de Puebla por Efecto de la Explotación del Acuífero.

Quevedo, O., Cerón, J., Cerón, R., Jaramillo, B., Calderón, M., Inshivotkina, Y., & Revelo, W. (2018). Morphological responses of Rhizophora harrisonii by pollution in the main port zone of Guayaquil – Ecuador. AIP Conference Proceedings, 1982(1), 020023. https://doi.org/10.1063/1.5045429

Quevedo Pinos, O. (2016). Afectaciones referenciales del SO2 en el ecosistema de manglar del Puerto de Guayaquil. Alternativas; Vol. 16, Núm. 3 (2015)DO - 10.23878/alternativas.v16i3.90. https://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-alternativas/index.php/alternativas-ucsg/article/view/90/73

Rb Bertomeu, S.L. (2003). TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR FUEL OIL IN SPAIN. Maximum Vanadium allowed content. TECHNICAL BULLETIN. Disponible en: https://www.rbbertomeu.es/htmlish/Boletines_ish/boletin6_ish.htm#:~:text=Although%20the%20fuel%20oil%20supplied,using%20the%20normal%20dosing%20of

SENER. (2016). PRODESEN.

SENER. (2017). Reporte de Avance de Energías Limpias. México.

SENER. (2017). Reporte de Energías Limpias.

SENER. (2020). PRODESEN. México.

SEMARNAT 2018. "Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California Sur 2018 - 2027" . proAire. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/310362/25_ProAire_Baja_California_Sur.pdf.

SEMARNAT. (2018). Mitigación de gases de efecto invernadero en el sector energético. Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-sector-energetico-176227

SEMARNAT. (2019). Datos abiertos INEM. Disponible en: http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/aire/inem/2016/

SEMARNAT. (2018). Principales cambios en la Ley General del Cambio Climático. Obtenido de https://www.gob.mx/semarnat/articulos/principales-cambios-en-la-ley-general-de-cambio-climatico.

Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico. (2015). Baja California Sur Información Estratégica. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/sitios/RIEF/Documents/Bajacaliforniasur-informacion-estrategica-2015.pdf

Secretaria de Salud de Baja California Sur. (2018). ANUARIO ESTADÍSTICO 2018. Disponible en: http://www.saludB.C.S..gob.mx/pdf/estadistica/2018/Anuario_Estadistico_(completo).pdf

Secretaria de Salud, SUIVE, Estados Unidos Mexicanos, & DGE. (2018). Veinte principales causas de enfermedad en Baja California Sur, por grupos de edad. Disponible en: https://epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/2018/principales/estatal_grupo/B.C.S..pdf

SETUES. (2018). Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California Sur (ProAire) 2018-2027. Disponible en: http://setuesB.C.S..gob.mx/sustentabilidad/25_proaire_baja_california_sur.pdf

Soriano, E. (2015). Determinación multielemental de metales traza en agua de mar. 411. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/71050736.pdf

Sun, Y., Zwolińska, E., & G. Chmielewski, A. (2016). Abatement technologies for high concentrations of NOx and SO2 removal from exhaust gases: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 46(2), 119-142.

Tortajada, I Ferris, et al. (2001). Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. Aspectos pediátricos. Revista Española de Pediatría, 2013–2225.

V. Krey, G. Luderer, L. Clarke, & E. Krieger. (2014). Getting from here to there–energy technology transformation pathways in the EMF27 scenarios. Climatic change.

van der A, R. J., Mijling, B., Ding, J., Koukouli, M. E., Liu, F., Li, Q., Mao, H., & Theys, N. (2017). Cleaning up the air: Effectiveness of air quality policy for SO2 and NOx emissions in China. Atmospheric Chemistry and Physics, 17(3), 1775-1789. https://doi.org/10.5194/acp-17-1775-2017

Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. Science of The Total Environment, 727, 138704. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704