



Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.

## Impactos de la contaminación del aire en La Paz, BCS

---

## I Introducción

En los últimos 60 años México ha sufrido importantes transformaciones sociales, como es la transición de un país mayoritariamente rural a uno urbano.<sup>1</sup> En 1950, menos del 43% de la población vivía en ciudades y áreas conurbadas, cifra que aumentó a 78% en 2010.<sup>2</sup> Una consecuencia de este cambio ha sido el aumento de la actividad industrial, vehicular, doméstica y de dotación de servicios, los cuales repercuten en la proliferación de problemas ambientales y en la concentración de contaminantes atmosféricos. Prueba de ello es el incremento en el número de emisiones de dióxido de carbono en México, que pasó de 1.63 toneladas métricas per cápita en 1961 a 3.76 en 2010.<sup>3</sup> Esto representa nuevos retos y amenazas para la salud de la población, ya que según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), actualmente se producen más de dos millones de muertes prematuras en el mundo por enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación ambiental.<sup>4</sup>

En México, cinco de las diez principales causas de muerte se asocian a la contaminación del aire,<sup>5</sup> limitando la competitividad de las ciudades al generar mayores gastos en salud tanto para particulares como para los gobiernos. Además también existe una importante caída en la productividad de los trabajadores por ausentismo laboral. En síntesis, la contaminación del aire en México ha generado costos aproximados de 14 mil millones de pesos desde 2010 a la fecha.<sup>6</sup>

Por ello para determinar el costo que tiene la contaminación en la competitividad de las ciudades mexicanas IMCO desarrolló una metodología para analizar 34 ciudades a nivel nacional. Sin embargo La Paz no se incluyó debido a que no cumplía los criterios de priorización que establecía la autoridad federal. De esta forma los primeros pasos para encontrar el impacto de la contaminación en La Paz consistieron en intentar incluir la ciudad dentro de la metodología de IMCO. Sin embargo, al no contar con datos sobre las emisiones de partículas (PM10) con las que se construyó dicha metodología a nivel nacional fue imposible realizar esta tarea. Por otro lado, se intentó determinar el nivel de emisiones a través de un estudio internacional para determinar niveles de contaminación a través de imágenes satelitales (*Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air pollution* by Brauer et al 2011). Sin embargo, tampoco se encontraron niveles altos de contaminación para partículas PM2.5 y ozono.

Por esta razón el presente documento tiene como objetivo construir un modelo específico para La Paz con la información oficial más reciente sobre la calidad del aire en La Paz, así como su posible impacto en la salud de sus habitantes a través de afectaciones respiratorias. Finalmente, también

---

<sup>1</sup> INEGI, las poblaciones rurales son aquellas con menos de 2,500 habitantes.

<sup>2</sup> INEGI, Volumen y Crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa, 2010.

<sup>3</sup> Banco Mundial, Indicadores de desarrollo mundial.

<sup>4</sup> OMS, Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

<sup>5</sup> IMCO con datos de la Secretaría de Salud, 2011.

<sup>6</sup> IMCO, La contaminación del aire: un problema que daña la salud y la economía, 2013.

se incluyó el costo de las externalidades de la termoeléctrica Punta Prieta (bajo la metodología desarrollada por IMCO) en La Paz debido a que es una de las principales fuentes de emisiones de contaminantes de la ciudad.

## II La calidad del aire

### Normatividad nacional e internacional de la calidad del aire

La contaminación atmosférica es un problema visible y medible a nivel mundial, el cual genera problemas de salud como: enfermedades respiratorias, cardiovasculares, asma, bronquitis y cáncer de pulmón, entre otras.<sup>7</sup> A manera de protección y prevención de estas afectaciones, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado recomendaciones para mantener una buena calidad del aire, fijando límites permisibles para algunos contaminantes. Bajo estos parámetros, nuestro país ha establecido Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) que regulan de manera obligatoria la composición de gases y precursores en la atmósfera, controlando y reduciendo los riesgos de la población. A continuación se muestran los límites máximos que otorgan la regulación nacional e internacional de algunos contaminantes:

Tabla 1: Regulación de la calidad del aire

Contaminante	Fórmula	Límite máximo en México	Recomendaciones OMS
Ozono	O <sub>3</sub>	216 µg/m <sup>3</sup> (0.11 ppm) en una hora, una vez al año	100 µg/m <sup>3</sup> de media en 8h
Monóxido de carbono	CO	12,595 µg/m <sup>3</sup> (11 ppm) promedio en ocho horas, una vez al año	
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	288 µg/m <sup>3</sup> (0.110 ppm) promedio en 24 horas	20 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h
		66 µg/m <sup>3</sup> (0.025 ppm) promedio anual	
		524 µg/m <sup>3</sup> (0.200 ppm) promedio en ocho horas	500 µg/m <sup>3</sup> de media en 10 min
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	395 µg/m <sup>3</sup> (0.21 ppm) en una hora, una vez al año	40 µg/m <sup>3</sup> de media anual 200 µg/m <sup>3</sup> de media en 1h
Partículas suspendidas	PST	210 µg/m <sup>3</sup> promedio de 24 horas	
	PM <sub>10</sub>	120 µg/m <sup>3</sup> promedio de 24 horas	50 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h
		50 µg/m <sup>3</sup> promedio anual	20 µg/m <sup>3</sup> de media anual
	PM <sub>2.5</sub>	65 µg/m <sup>3</sup> promedio de 24 horas	25 µg/m <sup>3</sup> de media en 24h
15 µg/m <sup>3</sup> promedio anual		10 µg/m <sup>3</sup> de media anual	
Plomo	Pb	1.5 µg/m <sup>3</sup> promedio en tres meses <sup>8</sup>	

Fuente: NOM-020-SSA1-1993, NOM-021-SSA1-1993, NOM-022-SSA1-2010, NOM-023-SSA1-1993, NOM-025-SSA1-1993, NOM-026-SSA1-1993 y OMS, Calidad del Aire y Salud, Nota descriptiva N°313, septiembre 2011

### Sistemas de monitoreo de la calidad del aire en México

Desde hace dos décadas, el monitoreo de emisiones de gases y precursores ha sido fundamental para captar, identificar y analizar la calidad del aire de las principales ciudades del país. Por esta razón, el gobierno federal regula la medición de contaminantes en la atmósfera a través de la NOM-156-SEMARNAT-2012, la cual establece la obligatoriedad de operar sistemas de monitoreo en las poblaciones con alguna de las siguientes características:

<sup>7</sup> OMS, *op. cit.*, 2005

<sup>8</sup> Promedio aritmético

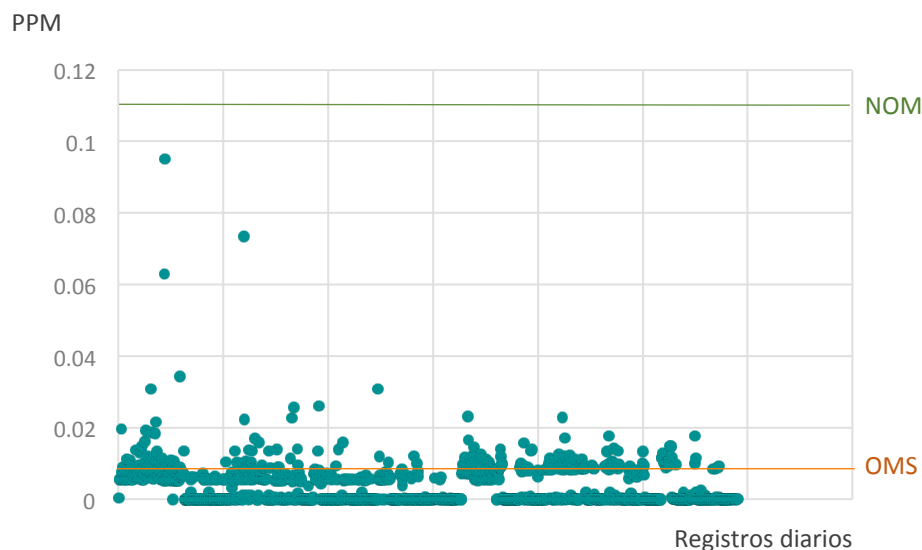
- Ciudades con más de 500,000 habitantes
- Zonas metropolitanas
- Asentamientos humanos con emisiones superiores a 20,000 toneladas anuales de contaminantes criterio primarios a la atmósfera
- Conurbaciones
- Actividad industrial que por sus características se requiera del establecimiento de estaciones de monitoreo de calidad del aire y/o de muestreo de contaminantes atmosféricos.

Con base en lo anterior, la normatividad mexicana exige a La Paz de la responsabilidad de monitorear la calidad de su aire; sin embargo, desde 2010 esta ciudad se integró al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA)<sup>9</sup> con la instalación de una estación que mide algunos contaminantes como: bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos nítricos (NO).

### La calidad del aire en La Paz

El sistema de monitoreo de La Paz ha generado registros diarios y por hora desde su instalación, por lo que el presente estudio utilizó una base de datos de 1,181 días y 28,344 horas<sup>10</sup> para comparar la concentración de contaminantes de esta ciudad con la regulación mexicana y las recomendaciones de la OMS. Los resultados obtenidos muestran que a partir de dichas mediciones las concentraciones de SO<sub>2</sub> nunca exceden los niveles de la regulación mexicana en ninguna de las tres mediciones contempladas (promedio de 24 horas, media anual y promedio de 8 horas), aunque sí rebasan el límite de la recomendación de la OMS el 21.25% de los días.

Gráfica 1: Concentraciones de SO<sub>2</sub> de La Paz (promedio de 24 horas en partículas por millón PPM)



Fuente: SINAICA 2013

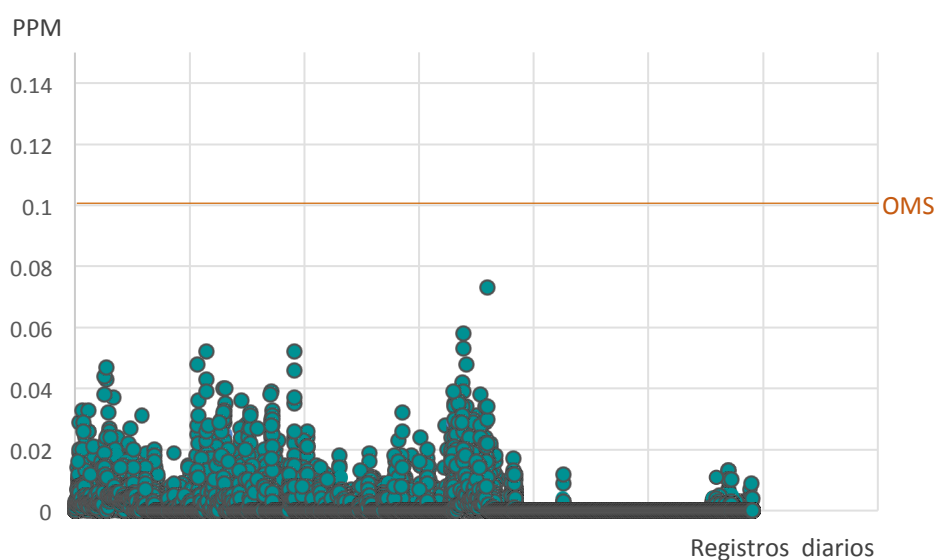
<sup>9</sup> SINAICA, Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.

<sup>10</sup> El periodo analizado es del 14 de marzo de 2010 al 24 de octubre de 2013

De acuerdo a la OMS, las concentraciones de SO<sub>2</sub> que superan el límite recomendado podrían tener efectos en la salud al inflamar el sistema respiratorio, provocando tos, secreción mucosa, agravamiento del asma y bronquitis crónica. Además se ha comprobado a nivel mundial que la mortalidad y los ingresos hospitalarios por cardiopatías aumentan en los días en los que los niveles de SO<sub>2</sub> son más elevados.<sup>11</sup>

Por su parte, el sistema de monitoreo de La Paz registra bajas emisiones de NO<sub>2</sub> al no exceder los límites de la regulación mexicana ni los márgenes recomendados por la OMS (ver gráfica 2), lo que previene que los niños asmáticos (los más vulnerables) padezcan bronquitis, ya que este contaminante disminuye el desarrollo de la función pulmonar.<sup>12</sup> Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO<sub>2</sub> son los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos).<sup>13</sup>

Gráfica 2: Concentraciones de NO<sub>2</sub> de La Paz (media en una hora)



Fuente: SINAICA 2013

Finalmente, hay que mencionar que no hay un marco normativo nacional o internacional que limiten las concentraciones de óxidos de nitrógeno u óxidos nítricos, pues no tienen impactos directos en la salud. Sin embargo, son componentes importantes para otros contaminantes como el ozono, el cual está regulado bajo una Norma Oficial Mexicana.

### III La contaminación atmosférica y su efecto en las enfermedades respiratorias en La Paz

#### Construcción del modelo para La Paz y resultados obtenidos

Con el objetivo de analizar el impacto de la concentración de contaminantes en la atmósfera con relación al número de enfermedades respiratorias en La Paz, probamos un modelo de regresión con series de tiempo Poisson y uno Binomial negativo, debido a que ambas metodologías

<sup>11</sup> OMS, *op. cit.*, 2005

<sup>12</sup> *Ibid*

<sup>13</sup> *Ibid*

---

permiten el uso de variables dependientes generadas por conteo (número de eventos que ocurrieron en un tiempo determinado). Sin embargo, los resultados de la Binomial negativa no fueron significativos, por lo que se continuó el análisis con el modelo Poisson. De esta forma la ecuación que se utilizó para estimar los costos de la contaminación en La Paz fue:

$$\text{Log}(\gamma) = \alpha + \beta_1 * \text{SO}_2 + \beta_2 * \text{NO}_2 + \beta_3 * \text{NO}_x + \beta_4 * \text{NO} + U$$

De esta forma la variable dependiente ( $\gamma$ ) es el logaritmo del número de ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias que obtuvimos del hospital general del IMSS, mientras que las variables independientes (VI) son el promedio diario de las emisiones de distintos contaminantes ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{NO}$ ).

Tras correr la regresión, encontramos que las variables independientes no explican el comportamiento de los cambios en el número de los ingresos hospitalarios contemplados con un nivel de confianza del 95%.<sup>14</sup> En otras palabras, no hay evidencia suficiente para mostrar que las emisiones registradas tengan un impacto directo y medible en la salud de la población de La Paz. Lo anterior, debido a que para cada una de las VI se rechaza la prueba de máxima verosimilitud (MV), lo que arroja estimadores inconsistentes (betas). En otras palabras, aunque el modelo es estadísticamente significativo, sus niveles de confianza son bajos para los coeficientes de los contaminantes (ver anexo 1).

Considerando lo anterior, se modificó el modelo para obtener mayores niveles de significancia en los estimadores. Tras realizar varios intentos, la única variable independiente que obtuvo cierta validez estadística con relación a la variable dependiente y además fue consistente en la prueba de Máxima Verosimilitud fue el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Sin embargo, dicho contaminante explica apenas el 0.43% de las variaciones en los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias (ver anexo 1).

Con base en los resultados de las regresiones, es factible afirmar que los contaminantes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  y  $\text{SO}_2$  no tienen mayor impacto en la salud de los habitantes de La Paz, al menos en cuanto a enfermedades respiratorias. Esta aseveración deriva de la calidad del aire en la ciudad que de acuerdo a los registros del sistema de monitoreo atmosférico muestran que la concentración de sus contaminantes está por debajo de lo establecido en la regulación mexicana.

Aunque este resultado concuerda con los datos que arrojaron las imágenes satelitales sobre la contaminación en La Paz (Ver Anexo 2), es preciso aclarar que cuenta con importantes limitantes debido a la falta de información que existe en la localidad tanto en emisiones como en registros hospitalarios.

### **Limitaciones del modelo**

La principal limitación del modelo se debe a las bases de datos utilizadas, tanto en la de ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias (variable dependiente) como en la de concentración de contaminantes (variables independientes).

#### Limitaciones de la variable dependiente (Enfermedades)

---

<sup>14</sup> El porcentaje ajustado del modelo, el cual mide el % de relación entre las VI y la variable dependiente y es similar al coeficiente de determinación  $R^2$  en una regresión simple, es de 0%.

1. En primer lugar sólo se utilizó parte de la muestra de registros hospitalarios ya que esta base de datos corresponde a los registros del hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) en La Paz, al no contar con los registros de las clínicas de salud que tiene el estado y de los centros de salud privados. (Dicha información se solicitó al gobierno local pero no se ha obtenido).
2. Por otro lado también hay que considerar que de acuerdo al estudio de Huerta y Bermúdez<sup>15</sup> las estaciones no necesariamente se encuentran en las zonas más apropiadas para determinar impactos de la contaminación de las fuentes de generación eléctrica, especialmente de la planta de Baja California Sur 1 (punto verde de la derecha):

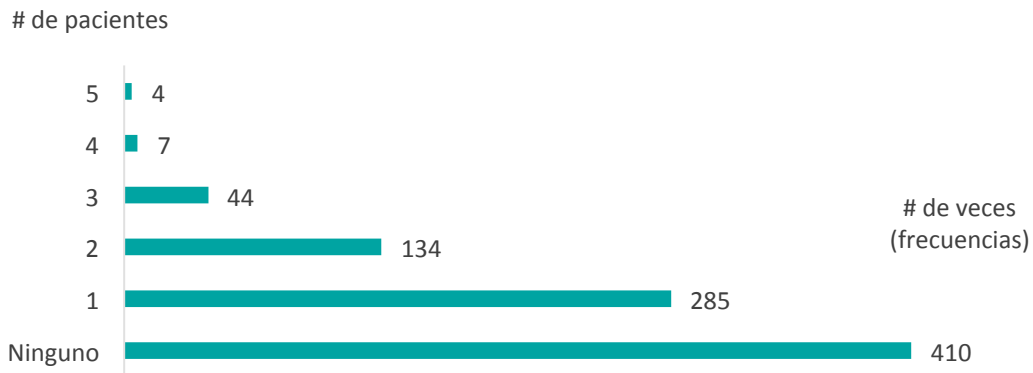


3. Por la forma en que se presentan los datos, no es posible diferenciar el ingreso de pacientes crónicos reincidentes del resto de los pacientes.
4. La regresión se corrió con información de 884 días<sup>16</sup> para empatarlo con los registros de las emisiones. Por ello, en el 46.38% de la muestra no se registró ningún ingreso hospitalario por afectaciones respiratorias, lo que podría explicar la inexistente relación entre las variables independientes con la dependiente.

<sup>15</sup> Javier Huerta Lara Alfredo Bermúdez Contreras, *Apuntes sobre la contaminación ambiental producida por las centrales eléctricas de Comisión Federal de Electricidad que afectan la imagen, salud y economía de La Paz, B.C.S.* Enero 2014

<sup>16</sup> La base de datos incluye registros de 2004 a 2012 pero hubo que equilibrar la información con las mediciones en las concentraciones de contaminantes, por lo que se acotó el rango de datos del 14 de marzo de 2010 al 31 de diciembre de 2012.

Gráfica 3: Número de pacientes con enfermedades respiratorias que ingresaron al hospital en un día



Fuente: IMSS 2013

#### Limitaciones de las variables independientes (Emisiones)

1. Algunos registros de las concentraciones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{NO}$  muestran cifras negativas, generadas por fallas de calibración, las cuales se sustituyeron por ceros para correr la regresión Poisson.
2. Como se mencionó al inicio del documento, la estación de monitoreo en La Paz emite registros por hora, por lo que la base de datos utilizada consta de 28,344 registros para cada tipo de contaminante.<sup>17</sup> Un significativo número de estas mediciones constan de cero ppm para los contaminantes, los cuales pudieron generarse al:
  - a. No haber ninguna partícula de los contaminantes en esa hora.
  - b. No contabilizarse la medición y por lo tanto el registro fue nulo (con cero).
  - c. Una combinación de las consideraciones a y b.
3. En esta serie, las consideraciones b y c del punto anterior podrían estar distorsionando el promedio diario de la concentración de contaminantes, afectando los resultados de la regresión. El total de ceros en los registros por hora para cada tipo de contaminante fue de:
  - 82.37% para  $\text{SO}_2$
  - 71.48% para  $\text{NO}_x$
  - 70.65% para  $\text{NO}_2$
  - 85.33% para  $\text{NO}$

#### Supuestos del modelo de regresión

1. Debido a la composición de las bases de datos utilizadas para generar el modelo, no fue posible añadir variables de control como humedad y temperatura.
2. Como consecuencia del bajo número de ingresos hospitalarios, no se distinguió entre pacientes menores de edad, mayores de 65 años y el resto de la población.
3. Considerando que el objetivo del estudio fue determinar los impactos de la calidad del aire en el número de ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias, se utilizaron dos puntos de comparación:

<sup>17</sup> Considerando que hay un total de 24 registros para los 1,181 días analizados.



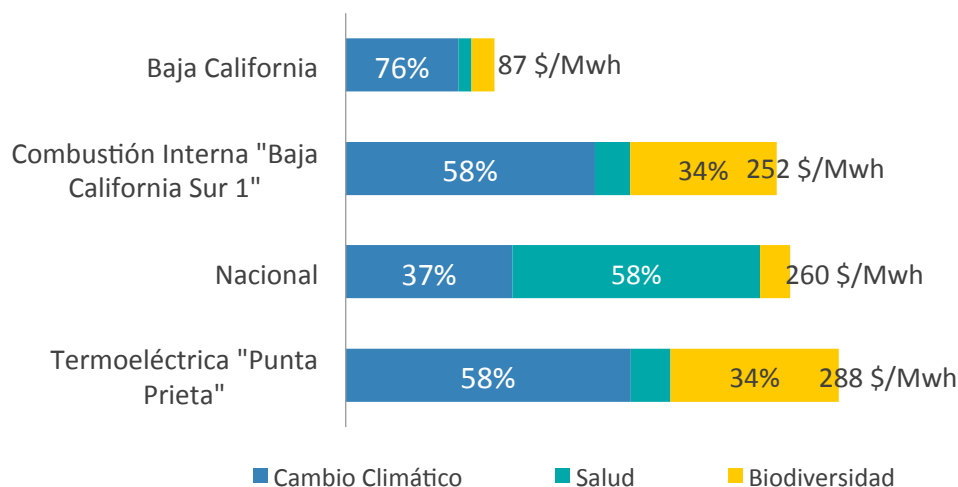
- a. Primer supuesto, los ingresos hospitalarios corresponden a la contaminación atmosférica del mismo día.
  - b. Segundo supuesto, los ingresos por enfermedades respiratorias se atribuyen a la composición de contaminantes del día anterior.
4. Los resultados obtenidos para ambos supuestos fueron semejantes, por lo que la exposición de resultados del estudio muestra lo correspondiente al primer supuesto.

#### IV Los costos de las emisiones de la planta Punta Prieta y la planta de combustión interna Baja California 1 en La Paz

Por otro lado, debido a que una de las principales fuentes de emisiones de La Paz es la termoeléctrica Punta Prieta, realizamos un estimado del costo de las externalidades que tiene tanto la planta, como la planta de Baja California Sur 1, de acuerdo a una metodología desarrollada por IMCO que se detalla más adelante.

Los resultados muestran que Los costos anuales de las externalidades generadas por “Punta Prieta” y “Baja California Sur 1” se estiman en 126 y 70 millones de pesos al año respectivamente y en un costo por MWh de energía eléctrica producida de 288 y 252 respectivamente (ver gráfica 4).

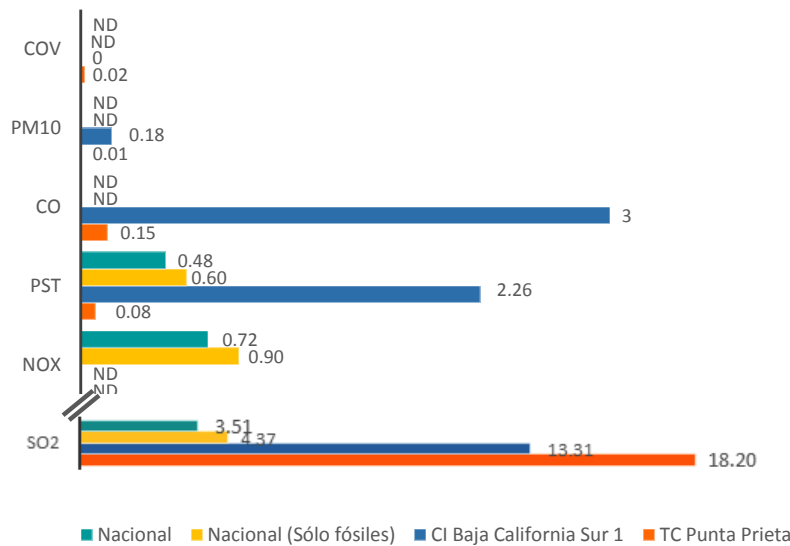
Gráfica 4: Valor promedio externalidades (pesos /Mwh)



Fuente: IMCO con base en distintas fuentes de información 2012 (CFE, Cepal, Aipacks, IPCC, SENER)

Al analizar las Cédulas de Operación Anual de Punta Prieta y Baja California Sur 1 (Semarnat 2012) y el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026 de CFE encontramos que las emisiones para algunos contaminantes como SO<sub>2</sub> son 4 y 3 veces mayores al promedio nacional (considerando sólo generación con fuentes fósiles), respectivamente (ver gráfica 5). Sin embargo, dichas concentraciones cumplen con las Normas Mexicanas (que son más laxas que en otros países como se muestra adelante) por lo que no se consideran un problema grave por las autoridades.

Gráfica 5: Emisiones de diversos contaminantes de la planta Punta Prieta y Baja California 1 (tons / Mwh)



ND= No disponible

Fuente: IMCO con base en las Cédulas de Operación Anual de Punta Prieta y Baja California Sur 1 (Semarnat) y el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026 (Comisión Federal de Electricidad).

### Resumen del modelo de externalidades empleado

La metodología creada por IMCO de externalidades sociales y ambientales causadas por la generación de electricidad pretende ser útil para emplearse como criterio en la selección de tecnologías de generación en escenarios de planeación del sector eléctrico nacional. A diferencia de las metodologías actuales que estiman las externalidades de una planta de generación una vez construida, la mencionada metodología y calculadora pretenden estimar externalidades, en pesos por megawatt hora, antes de su construcción y en cualquier zona del país.

Dicha metodología desarrollada por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) considera los impactos en salud, biodiversidad y cambio climático, de tal forma que permite mejorar la planeación de la generación eléctrica con base en dos criterios: la ubicación de una planta y la tecnología que dicha planta utilizará. De esta forma se pueden comparar las distintas externalidades de ubicar una planta en cierto lugar o bien, de usar diferentes tecnologías de generación.

Lo anterior pretende contribuir a mejorar la decisión de dónde ubicar las plantas de generación futuras en el país con base en un menor impacto social y ambiental que hoy no son considerados. Los impactos que considera la metodología son:

- Impactos a la salud, toma como base el modelo QUERI desarrollado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Dicho modelo es semi-empírico<sup>18</sup> basado en factores de ajuste para estimar el número de enfermedades respiratorias relacionadas con la inhalación de contaminantes que producen las plantas de generación eléctrica. Los

<sup>18</sup> Semi-empírico se refiere al uso de factores de ajuste de plantas ya instaladas bajo características similares en Europa, dada la falta de información en México.

---

costos que considera son los de atención médica, pérdida de productividad, voluntad a pagar y en su caso, mortalidad.

- Impactos al cambio climático, se basa en la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero con un valor acorde a los mercados de carbono.
- Impacto a la biodiversidad, Para esta estimación se establece un límite de concentración de contaminantes que se considera afecta el desarrollo de las plantas. En el siguiente paso se estima el área con cobertura vegetal alrededor de la planta que caería dentro de este radio de afectación y con base en un valor por hectárea establecido, de acuerdo al Programa de Servicios Ambientales del gobierno federal y al carbono capturado por hectárea, se estima el costo de dicha pérdida.

Para comparar cada uno de estos tres costos de acuerdo a la tecnología empleada en la producción de electricidad y su ubicación, el IMCO diseñó una calculadora en Excel que divide al país en 2,133 zonas (cuadros de 33 x 27 km) especificando para cada una su densidad poblacional y cobertura vegetal. De esta forma con sólo escoger: una de las seis tecnologías de generación,<sup>19</sup> la capacidad de la planta (megawatts) y el cuadrante del país, el usuario obtiene el costo de la externalidad total, así como los cálculos, fórmulas, mapas guía, supuestos y un análisis de sensibilidad que respaldan los resultados.

Una clasificación de las zonas, de acuerdo a los resultados para cada tecnología de generación, arroja que el 55% del territorio presenta un nivel de impacto muy bajo o bajo, 34% un nivel medio y sólo el 11% de las zonas evaluadas llegan a un nivel alto o muy alto. Al desagregar por tecnología de generación, el monto promedio de las externalidades en pesos por megawatt hora y el valor presente de la externalidad fue de: \$943 y \$24,453 pesos/Mwh en una carboeléctrica, \$300 y \$8,239 pesos/Mwh para una termoeléctrica, \$262 y \$7,196 pesos/Mwh para plantas de combustión interna, \$222 y \$6,344 pesos/Mwh para una planta de turbogás con diesel, \$148 y \$4,304 pesos/Mwh para una planta de turbogás con gas, \$101 y \$2,941 pesos/Mwh en un ciclo combinado. Sin embargo como se vio en los resultados la planta de Baja California Sur 1 de combustión interna y la termoeléctrica de Punta Prieta tienen mayores externalidades que el promedio nacional.

Para mayor detalle de dicha metodología consultar:

[http://imco.org.mx/medio\\_ambiente/externalidades\\_asociadas\\_a\\_la\\_generacion\\_de\\_electricidad/](http://imco.org.mx/medio_ambiente/externalidades_asociadas_a_la_generacion_de_electricidad/) dónde se pueden encontrar distintos documentos que explican la metodología de cálculo y una calculadora en Excel para hacer distintas estimaciones.

## V Conclusiones y recomendaciones

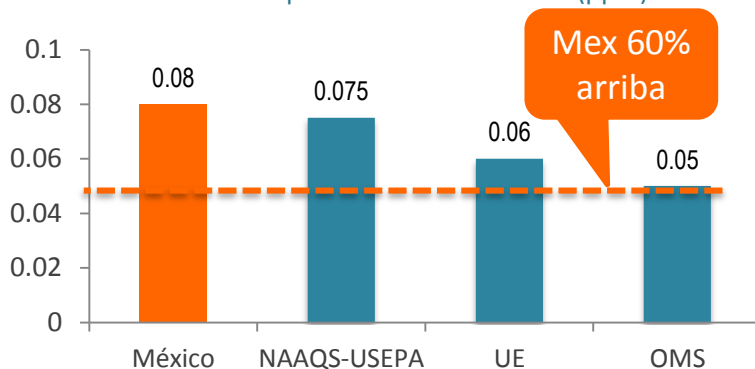
Con este estudio se puede concluir que la información existente sobre emisiones de La Paz BCS muestra que no existe mayor impacto en enfermedades respiratorias de la población de la ciudad. Sin embargo, existen grandes deficiencias de información para construir modelos más robustos con más observaciones tanto a nivel local como federal. Por ello proponemos:

---

<sup>19</sup> Las tecnologías contenidas en el COPAR (Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico) y que usan combustibles fósiles para generar electricidad.

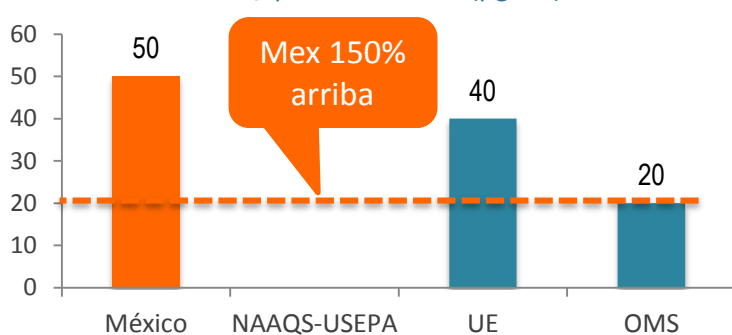
1. Considerar la creación de incentivos fiscales a nivel federal para que más ciudades midan y reporten la calidad del aire, así como para que implementen un sistema de evaluación nacional de ciudades, a través de redes de monitoreo paralelas
2. Que el gobierno del estado haga una de sus prioridades la medición de la calidad del aire e incorpore un sistema alternativo de medición con apoyo local. La idea es que se tengan reportes actualizados y diarios de los distintos contaminantes con acceso libre a registros históricos. Las tecnologías actuales no son caras y están disponibles ver por ejemplo: <http://airqualityegg.com/> y los precios de sus componentes en : [//shop.wickeddevice.com/?main\\_page=index&cPath=28&zenid=LnA905IJ-yg,PBagnUuYe3](http://shop.wickeddevice.com/?main_page=index&cPath=28&zenid=LnA905IJ-yg,PBagnUuYe3)
3. Hacer más estrictas las normas de calidad del aire, así como las normas de emisiones de los vehículos
4. Elaborar un programa Pro Aire más estricto, ya que los estándares por contaminante que utiliza México son más laxos que en otros países (ver gráficas 6, 7 y 8). Dicho programa deberá contar con un componente de seguimiento de sus metas.

Gráfica 6: Norma Ozono promedio móvil 8 horas (ppm)



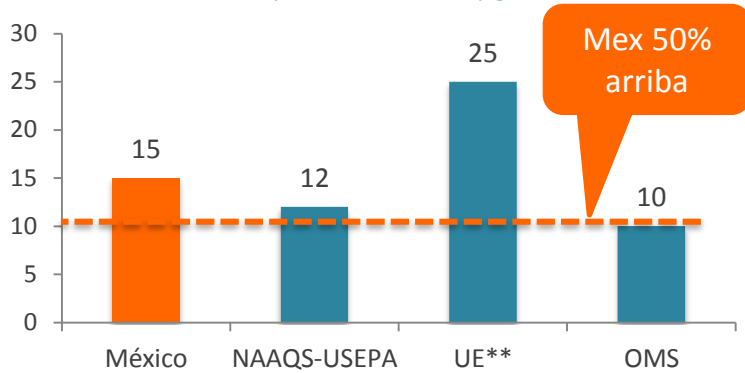
Fuente: Secretaría de Salud 2013, Comisión Europea, OMS y EPA 2013.

Gráfica 7: Norma PM<sub>10</sub> promedio anual (µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Secretaría de Salud 2013, Comisión Europea, OMS y EPA 2013.

Gráfica 8: Norma PM<sub>2.5</sub> promedio anual (µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Secretaría de Salud 2013, Comisión Europea, OMS y EPA 2013.

5. Promover mejoras urbanas para asegurar el crecimiento compacto de la ciudad, desincentivar el uso del automóvil y mejorar los reglamentos de construcción.
6. Crear un índice de calidad del aire para la ciudad que aumente la percepción de riesgo de algunos contaminantes que actualmente no se miden
7. Analizar costo de sustituir la generación eléctrica en un escenario post reforma energética a través de otras fuentes menos contaminantes en la región.
8. A nivel federal también se considera importante aprobar la norma que obliga la distribución de combustibles limpios en todo el país y acelerar su distribución.

## Anexo 1

Regresion Poisson, con el numero de ingresos hospitalarios como variable dependiente y las concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> y NO como variables independientes.

### **Poisson Regression - Ingresos hospitalarios**

Dependent variable: Ingresos hospitalarios

Factors:

SO<sub>2</sub>\_Promedio  
NO<sub>x</sub>\_Promedio  
NO<sub>2</sub>\_Promedio  
NO\_Promedio

#### **Estimated Regression Model (Maximum Likelihood)**

		<i>Standard</i>	<i>Estimated</i>
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Rate Ratio</i>
CONSTANT	-0.229366	0.0480917	
SO <sub>2</sub> _Prom_	-10.9972	9.80506	0.0000167491
NO <sub>x</sub> _Prom_	-336.823	198.62	5.24311E-147
NO <sub>2</sub> _Prom_	373.197	194.573	1.19466E162
NO_Prom_	336.25	198.614	1.07534E146

#### **Analysis of Deviance**

<i>Source</i>	<i>Deviance</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>
Model	9.78849	4	0.0441
Residual	1068.38	879	0.0000
Total (corr.)	1078.17	883	

Percentage of deviance explained by model = 0.907881

Adjusted percentage = 0.0

#### **Likelihood Ratio Tests**

<i>Factor</i>	<i>Chi-Squared</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>
SO <sub>2</sub> _Prom_	1.24933	1	0.2637
NO <sub>x</sub> _Prom_	2.49043	1	0.1145
NO <sub>2</sub> _Prom_	3.11081	1	0.0778
NO_Prom_	2.4805	1	0.1153

#### **Residual Analysis**

	<i>Estimation</i>	<i>Validation</i>
n	884	
MSE	0.76404	
MAE	0.759934	
MAPE		
ME	0.00017576	
MPE		

Regresion Poisson, con el numero de ingresos hospitalarios como variable dependiente y las concentraciones de NO<sub>2</sub> como variable independiente.

### **Poisson Regression - Ingresos hospitalarios**

Dependent variable: Ingresos hospitalarios

Factors:

NO<sub>2</sub>\_Promedio

#### **Estimated Regression Model (Maximum Likelihood)**

		<i>Standard</i>	<i>Estimated</i>
--	--	-----------------	------------------

<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Rate Ratio</i>
CONSTANT	-0.245706	0.0462214	
NO2_Prom_	28.6251	12.9171	2.70215E12

#### Analysis of Deviance

<i>Source</i>	<i>Deviance</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>
Model	4.67385	1	0.0306
Residual	1073.5	882	0.0000
Total (corr.)	1078.17	883	

Percentage of deviance explained by model = 0.433499  
Adjusted percentage = 0.0624994

#### Likelihood Ratio Tests

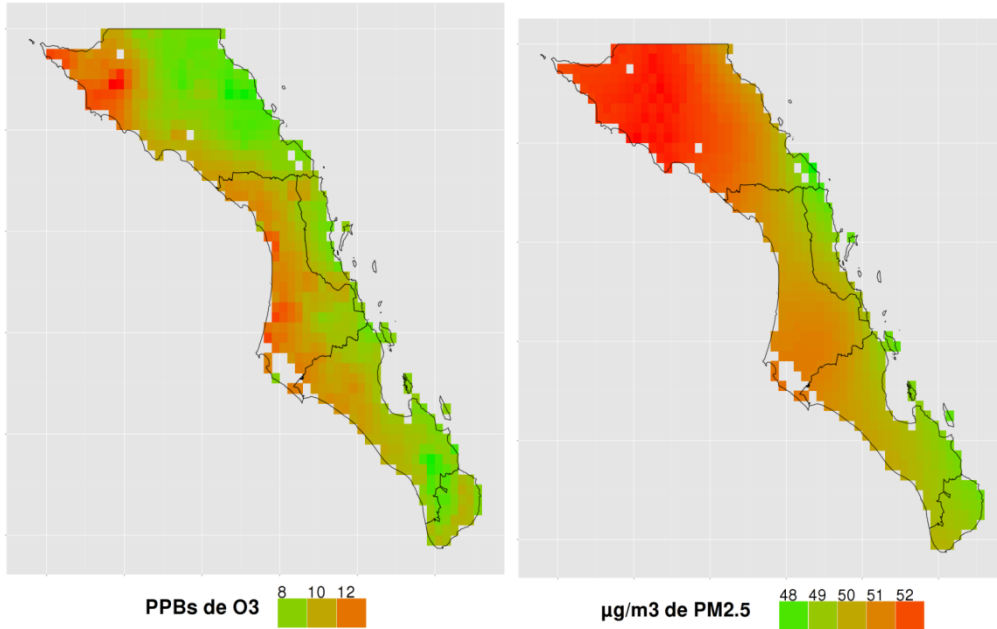
<i>Factor</i>	<i>Chi-Squared</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>
NO2_Prom_	4.67385	1	0.0306

#### Residual Analysis

	<i>Estimation</i>	<i>Validation</i>
n	884	
MSE	0.771849	
MAE	0.76585	
MAPE		
ME	0.000047698	
MPE		

## Anexo 2

Gráfica 9: Niveles de contaminación en La Paz de partículas PM2.5 (derecha) y Ozono (izquierda) en la península de Baja California (2010).



Fuente: "Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air pollution" by Brauer et al 2011. Datos 2010