

BENEFICIOS ESTIMADOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN

La estimación de beneficios en la salud asociados con la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y bióxido de azufre (SO_2) del proyecto de modificación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, se basó en la metodología empleada en la "Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica" publicada por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), hoy en día Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

El presente análisis contempla los casos evitados en la salud asociados a las partículas $\text{PM}_{2.5}$ secundarias provenientes de la transformación química de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y bióxido de azufre (SO_2) para el periodo 2017-2037, tanto para un escenario sin norma (escenario base, sin control), como el escenario con norma (medida de control).

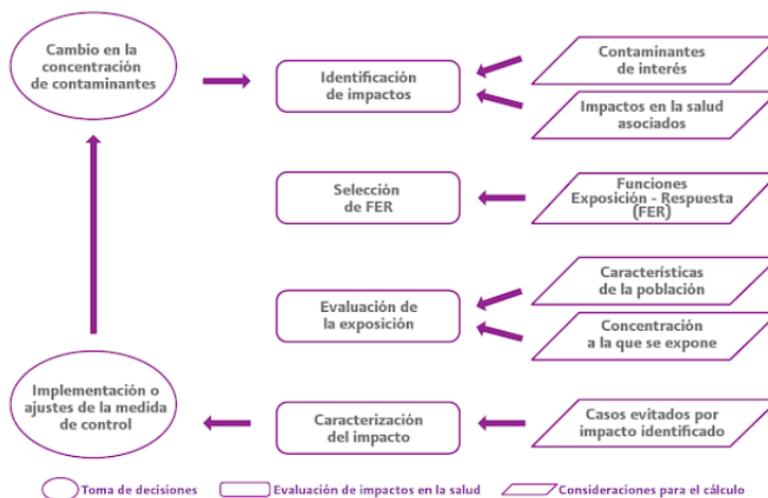
Metodología empleada para la Evaluación de Impactos a la Salud

La metodología que se utiliza para la evaluación de impactos en la salud (EIS) por la implementación de medidas de control consta de cuatro etapas:

1. Identificación de contaminantes e impactos en la salud a ellos asociados.
2. Selección de la función exposición-respuesta.
3. Evaluación de la exposición de la población, y
4. Caracterización de impactos en la salud de la población.

Las cuatro etapas antes mencionadas permiten el manejo estandarizado y coherente de la información (Figura 1).

Figura 1.-Etapas de la evaluación de los impactos en la salud



Fuente: INECC,2011

1. Identificación de los contaminantes e impactos en la salud a ellos asociados

Para el proyecto de modificación a la NOM-163, los contaminantes que están directamente relacionados con el ahorro de combustible (a la no quema de gasolina) son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el bióxido de azufre (SO_2).

La exposición al SO₂ produce irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria. Además, se ha observado que bajo la combinación de partículas y SO₂, suele aumentar el riesgo en la salud al incrementar la morbilidad y mortalidad de enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias. La exposición a NO_x en individuos asmáticos puede producir broncoconstricción, así como problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar. En el Tabla 1 se presentan los principales contaminantes que fueron considerados en el presente análisis con sus respectivos impactos.

Tabla 1.- Principales contaminantes y sus impactos del presente análisis del EIS

Contaminante	Impactos a corto plazo	Impactos a largo plazo
Partículas [PM ₁₀]	Mortalidad, admisión a hospitales por enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Mortalidad en infantes y adultos por enfermedades cardiovasculares y cardio pulmonares, y en adultos por cáncer de pulmón
Partículas [PM _{2.5}]		
Bióxido de nitrógeno [NO ₂]	Mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como mortalidad general y exacerbación de síntomas respiratorios	Actúa como sinergia con las partículas, aumentando el número de casos de mortalidad y morbilidad
Bióxido de azufre [SO ₂]	Admisión a hospitales por complicaciones respiratorias y cardiovasculares	Contribuye a la formación de partículas secundarias responsables de casos de mortalidad y morbilidad

Fuente: INECC, 2011

Para la estimación de las emisiones de NO_x y SO₂ para cada año, con norma y sin norma, en el periodo 2017-2037, se contempló lo siguiente:

- Consumo de gasolina en barriles sin norma (escenario base)
- Consumo de gasolina en barriles con norma
- Contenido de energía por barril de gasolina
- Factores de emisión para NO_x y SO₂ (Tabla 2)

Tabla 2.- Factores de emisión empleados para la estimación de emisiones de contaminantes locales

Contaminante	Factor de emisión (ton/TJ)
Óxidos de nitrógeno	0.241734
Bióxido de azufre	0.02246

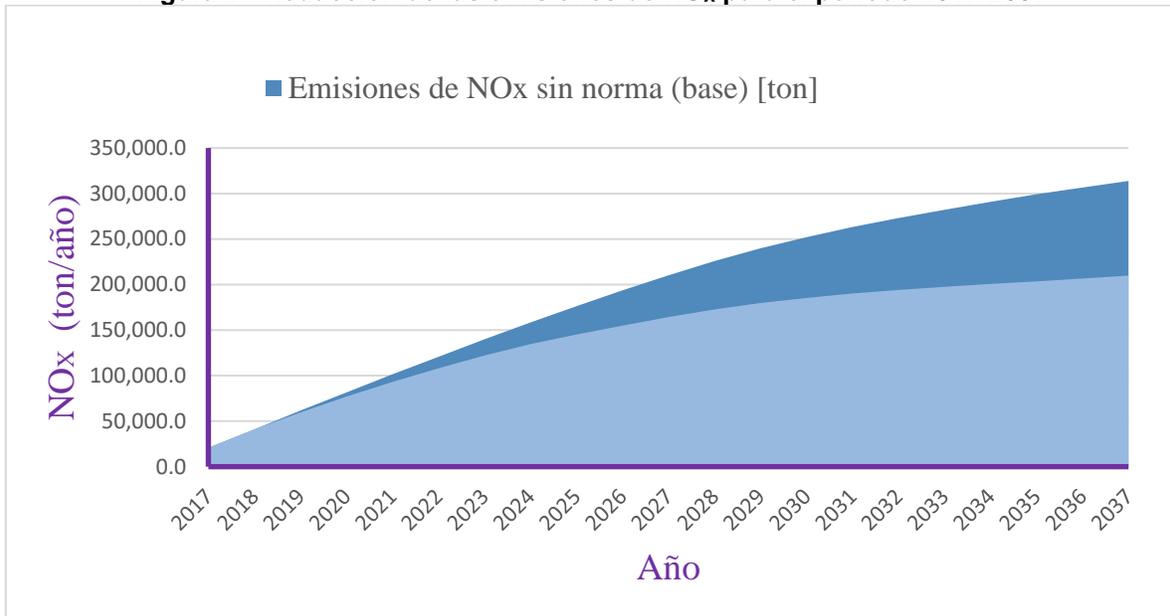
Fuente: INEGI, 2002

http://www2.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/mexico_nghgi_2002.pdf

Fecha de consulta 08 de agosto de 2018

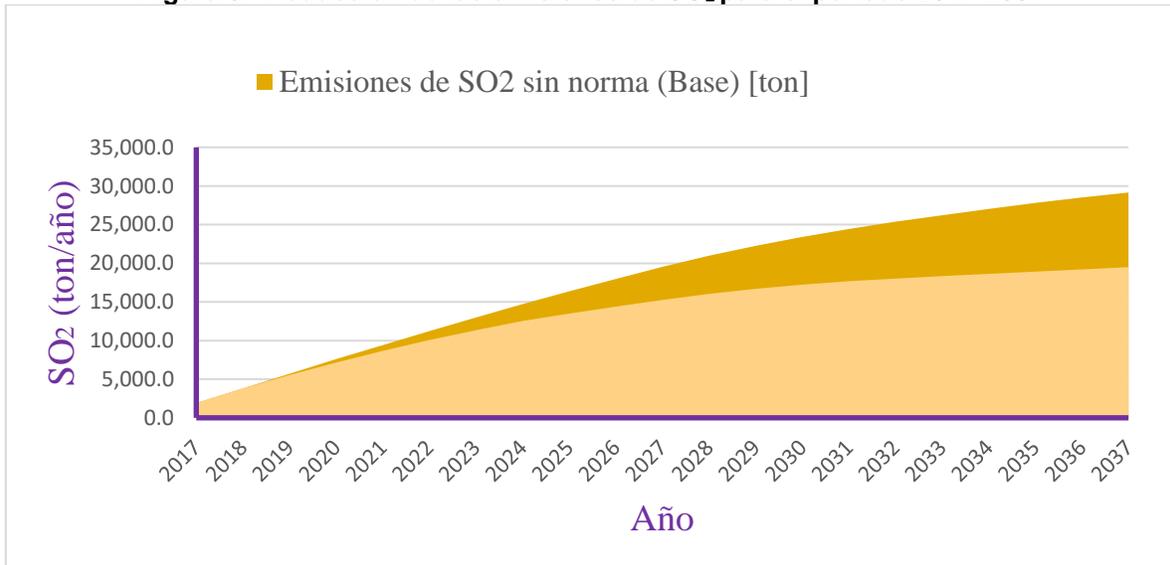
El primer paso consiste en convertir los barriles de gasolina en su equivalente de contenido energético y, como segundo paso, se convierte el contenido energético en toneladas del contaminante criterio, utilizando los factores de emisión de la Tabla 2. De esta manera, las emisiones de NO_x y SO₂ para el periodo 2017-2037 se presentan en las Figuras 2 y 3, en las cuales las emisiones sin norma son mayores con respecto a un escenario con norma (medida de control).

Figura 2.- Reducción de las emisiones de NO_x para el periodo 2017-2037



Fuente: Elaboración propia SEMARNAT

Figura 3.- Reducción de las emisiones de SO₂ para el periodo 2017-2037



Fuente: Elaboración propia SEMARNAT

2. Selección de la Función Exposición-Respuesta

Las funciones exposición-respuesta (FER) representan la probabilidad de que ocurra un impacto en la salud a partir de un cambio en la exposición a un contaminante. Las FER derivan de estudios epidemiológicos y se encuentran expresadas en la literatura científica comúnmente en términos de riesgo relativo(RR). El RR es el cociente de la frecuencia con la que ocurre el daño en los sujetos expuestos al factor de riesgo y la frecuencia con la que ocurre el daño en los sujetos no expuestos.

En este análisis se utilizó la FER expresada como un coeficiente beta (β), el cual representa el porcentaje de cambio en el impacto en la salud debido a un cambio en la concentración de una unidad, lo cual se expresa matemáticamente como:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C}$$

Donde:

B=Porcentaje de cambio en el impacto en la salud

RR=Riesgo relativo de acuerdo con el impacto en la salud

ΔC =Cambio en la concentración

FER para PM_{2.5}

Al contar con las emisiones de los contaminantes locales, en el presente análisis se utiliza una FER para partículas de 2.5 micras (PM_{2.5}) asociada con las partículas finas secundarias (originadas por la transformación química de las emisiones de NO_x y SO₂). Para los impactos en salud por la exposición a largo plazo a PM_{2.5} (fracción fina o cardiopulmonar), generalmente se utilizan los estudios de cohorte de seis ciudades (Six Cities) y de la sociedad Americana del Cáncer (ACS, por sus siglas en inglés), así como su reciente análisis (Pope et., 2002). Dichos estudios proporcionan riesgos relativos para la mortalidad general, la mortalidad por cáncer de pulmón y la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares y cardiovasculares, todos ellos vinculados a un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración atmosférica de PM_{2.5}. Dado que no se cuenta con estudios de cohorte para México, se emplean los antes mencionados (Tabla 3).

Tabla 3.- FER de los Riesgos Relativos vinculados al incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5}

Impactos en la salud	Intervalo de edad de la población afectada (años)	Riesgo Relativo (IC 95%)**	Referencia
Mortalidad por cáncer de pulmón	>= 30	1.151 (1.03-1.27)	ACS (Pope et al., 2002)
Mortalidad por enfermedades cardiovasculares	>= 30	1.129 (1.04-1.23)	ACS y Seis Ciudades. Estimador compuesto (Stevens, et. al., 2008)
Mortalidad Infantil por enfermedades respiratorias *	4 semanas-1 año	1.20 (1.06-1.36) *	(Woodruff, et. al. 1997)
Bronquitis crónica	>= 30	1.181 (1.04-1.35)	(Abbey, et. al., 1995)

Días de actividad restringida	>= 15	1.077(1.02-1.13)	(Abt, 2003)
Días de trabajo perdidos	Población económicamente activa	1.047 (1.01-1.08)	(Abt, 2003)

*Riesgo relativo vinculado a un incremento de 10 µg/m³ en la concentración de PM10

**IC (Intervalo de Certidumbre del 95%)

Fuente: (INECC, 2011)

3. Evaluación de la exposición de la población

Para la Evaluación de Impactos a la Salud por la reducción de emisiones de NO_x y SO₂, se consideró el impacto a nivel nacional. De esta manera, se obtuvieron los datos del crecimiento poblacional para el periodo 2017-2037, a partir de los datos proyectados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Con la información del crecimiento poblacional a nivel nacional, se segregó en dos regiones de estudio; crecimiento poblacional de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y resto del país (población total menos la población de la ZMVM).

Una vez obtenidas las proyecciones de la población, se realizó la caracterización por grupo de edad; es decir, el intervalo de edad de la población afectada (en años), así como la incidencia por cada mil personas (Tabla 4).

Tabla 4.- Caracterización de la población

Impactos en la salud	Intervalo de edad de la población afectada (años)	Población por grupo de edad en 2017 (%)	Población por grupo de edad en 2037 (%)	Incidencias por mil personas *
Mortalidad por cáncer de pulmón	>= 30	47	56	0.07
Mortalidad por enfermedades cardiovasculares	>= 30	47	56	1.19
Mortalidad Infantil por enfermedades respiratorias	4 semanas-1 año	3.6	3	1.59
Bronquitis crónica	>= 30	47	56	1.63 para el resto del país y 6.06 para la ZMVM
Días de actividad restringida	>= 15	73	78	0.974
Días de trabajo perdidos	Población económicamente activa	43**		5.51

*Incidencia obtenida en la guía INECC, 2011 para el año 2008

**porcentaje asociado en el cuarto trimestre del 2017 y al primer trimestre del 2018 (Fuente: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/cuadrosestadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=603&c=25620>)

Fuente: Elaboración propia, SEMARNAT con información del INECC, 2011

Estimación del cambio en la Concentración a la que está expuesta la Población

La exposición está determinada por la interacción entre la población, con sus características intrínsecas y la concentración del contaminante. En el presente análisis se hace uso de la Fracción

de Inhalación (FI) para partículas finas secundarias provenientes de los NO_x y el SO₂, con la finalidad de obtener el cambio en la concentración de cada contaminante. La FI es una medida adimensional que cuantifica la relación entre la emisión de un contaminante que efectivamente ingresa al cuerpo humano, misma que es parte de las variables de la siguiente ecuación.

$$\Delta C = \frac{(FI)(\Delta E)}{(Tr)(P)}$$

Donde:

ΔC = Cambio en la concentración a la que está expuesta la población

FI = Fracción de Inhalación

ΔE = Cambio en las emisiones

Tr = Tasa de respiración

P = Población expuesta

Las Fracciones de Inhalación utilizadas (Tabla 5), fueron estimadas por Stevens, et al. (2007 y 2008), para la evaluación de impactos en la salud por emisiones vehiculares en México. La estimación de la FI para la ZMVM es más robusta, ya que se refiere a una zona geográfica específica de alta densidad poblacional; sin embargo, la estimación para el resto del país se realizó con el método de regresión.

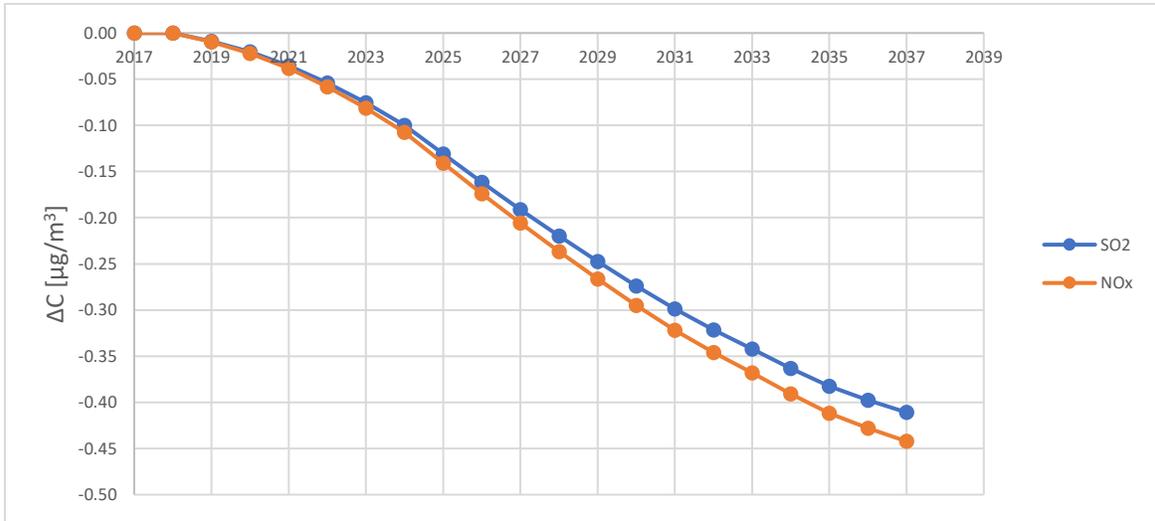
Tabla 5.- Fracciones de inhalación para México (por millón)

Partículas finas	Fracción de Inhalación	
	ZMVM	Resto del País
Partículas finas primarias	60	3
Partículas finas secundarias provenientes de nitratos (NO _x)	0.7	0.05
Partículas finas secundarias provenientes de Sulfatos (SO ₂)	7	0.5

Fuente: INECC, 2011

Por lo tanto, utilizando la siguiente información: los resultados de la reducción de emisiones, las estimaciones de las FI, una tasa de respiración promedio de 7,300 m³/año (INECC, 2011) y los datos de la población bajo estudio, se calculó el cambio total en la concentración a la que está expuesta la población de la ZMVM y en el resto del país (Figura 4).

Figura 4.- Cambio total en la concentración a la que está expuesta la población, debido a la implementación de la NOM-163



Fuente: Elaboración propia, SEMARNAT

4. Caracterización de impactos en la salud de la población

Los beneficios para la salud se entienden en términos de la reducción de la mortalidad y morbilidad, vinculada con el cambio en la exposición de la población; es decir, el número de casos evitables de cada uno de los impactos en la salud seleccionados y que son atribuibles a la reducción en la concentración de cada uno de los contaminantes.

La selección de los contaminantes, los impactos asociados, las FER a utilizar, la caracterización de la población afectada, se utilizan como variables para estimar los impactos evitados, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I_{ij} = T_i * P * F * [1 - e^{-\Delta C_j \beta_{ij}}]$$

Donde:

I_{ij} [número de casos]= número de casos de impactos en la salud i , vinculados con el cambio en la concentración del contaminante j .

β_{ij} [β]= función exposición-respuesta expresada como el logaritmo natural del riesgo relativo para el efecto i entre el cambio en la concentración del contaminante j , en el estudio del cual deriva la FER.

ΔC_j [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]=cambio en la concentración del contaminante j asociado a la reducción de emisiones derivada de la instrumentación de la medida de control evaluada, ponderado por la población que está expuesta en la zona objeto de estudio.

P [número de personas]=población expuesta al contaminante j , en la zona objeto de estudio y que puede ser afectada por el impacto i .

T_i [número de casos/personas/año]= tasa basal de mortalidad o morbilidad, asociada al impacto i de la población P .

F = Fracción de la población afectada por grupo de edad y por impacto

Los resultados obtenidos, en términos de impactos en la salud evitados por instrumentación de la NOM, se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Impactos en salud evitados por la instrumentación de la NOM-163

Escenario	Mortalidad cardiovascular	Mortalidad por cáncer de pulmón	Mortalidad infantil por causas respiratorias	Bronquitis crónica (# de casos)	Días perdidos de trabajo (# días)	Días de actividad restringida por enfermedades respiratorias (#días)
De impacto temporal	1,543	105	202	11,468	8,099	2,312
De impacto permanente	4,360	297	542	32,296	22,498	6,420

Fuente: Elaboración propia, SEMARNAT

Referencias

(INECC, 2011). Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://books.google.com.mx/books?id=nKPF0AG1gkMC&pg=PA20&lpg=PA20&dq=Gu%C3%ADa+para+evaluar+los+impactos+en+la+salud+por+la+instrumentaci%C3%B3n+de+medidas+de+control+de+la+contaminaci%C3%B3n+atmosf%C3%A9rica+INECC&source=bl&ots=dNwAWimsAt&sig=s4aNn582pPG6JO_U0T0J13rn4TQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi1pM6ly6bcAhVsja0KHV0eDJYQ6AEwA3oECAEQTQ#v=onepage&q&f=true

(CONAPO, 2018). Proyecciones de la población 2010-2050. <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>

(SNIEG, 2018). Catálogo Nacional de Indicadores. <http://www.snieg.mx/cni/sreferencia.aspx>

(INEGI, 2018). Población económicamente activa. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/cuadroestadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=603&c=25620>