

**Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de revisión
de las normas de calidad primaria de aire contenidas en la Res
Nº1215/78 del Ministerio de Salud**

Informe Final preparado por:

Sandra Moreira B.

Noviembre 2000

Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 AREAS GEOGRÁFICAS DE ESTUDIO	4
2. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EFECTOS EN SALUD	5
2.1 ESQUEMA DEL MÉTODO	5
2.2 CÁLCULO DEL CAMBIO DE EFECTOS EN LA SALUD	5
2.2.1 Métricas para la Evaluación del Riesgo	6
2.2.2 Relaciones Concentración-Respuesta	7
2.2.3 Exposición de la Población	15
2.2.4 Tasa Base de Efectos	17
2.2.5 Estimación de Efectos	18
2.3 FACTORES QUE MODIFICAN LOS EFECTOS	21
2.3.1 Grupos Etéreos	21
2.3.2 Resolución Geográfica	22
3. VALORACIÓN DE EFECTOS EN SALUD	23
4. APLICACIÓN DEL MÉTODO	25
4.1 SELECCIÓN DE LOS EFECTOS A CONSIDERAR	25
4.1.1 Criterio para seleccionar estudios	25
4.1.2 Proposición de coeficientes C-R O ₃	27
4.1.3 Proposición de coeficientes C-R SO ₂	28
4.1.4 Proposición de coeficientes C-R CO	29
4.1.5 Cálculo un estimador conjunto (Pooling de betas)	30
4.1.6 Eliminación del Doble Conteo de Casos	31
4.2 PROPOSICIÓN DE TASAS BASE	33
5. CASOS DE ESTUDIO: CÁLCULO DE EXPOSICIÓN	35
5.1 OZONO O ₃	35
5.1.1 Provincia de Santiago	35
5.1.2 Hijuelas	38
5.2 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	40
5.2.1 Paipote	40
5.2.2 Ventanas	42
5.2.3 Alto Norte	43
5.2.4 Talcahuano	43
5.3 MONÓXIDO DE CARBONO CO	46
5.4 DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO ₂	46
6. RESULTADOS: BENEFICIOS SOCIALES EN SALUD	46
6.1 OZONO O ₃	46
6.1.1 Provincia de Santiago	46
6.1.2 Hijuelas	50
6.1.3 Análisis de Situaciones de Emergencia	53
6.2 DIÓXIDO DE AZUFRE SO ₂	55
6.2.1 Paipote	55
6.2.2 Ventanas	59
6.2.3 Talcahuano	63
6.3 MONÓXIDO DE CARBONO	67
6.4 DIÓXIDO DE NITRÓGENO	67

7. ANÁLISIS DE RIESGO ASOCIADO A LAS NORMAS PROPUESTAS.	68
7.1 RIESGO EN SALUD ASOCIADOS A LA NORMATIVA PROPUESTA	68
7.2 ESTIMACIÓN DE RIESGO	69
7.2.1 <i>Ozono O3</i>	70
7.2.2 <i>Dióxido de azufre</i>	72
7.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	74
ANEXOS	79
ANEXO A: ABREVIATURAS Y TÉRMINOS UTILIZADOS	80
ANEXO B: INCERTIDUMBRES	81
ANEXO C: TASAS BASE DE EFECTOS	82
C.1 TASAS BASE DE LA LITERATURA	82
C.2 TASAS BASE CALCULADAS A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS EN CHILE POR COMUNA	83
ANEXO D: POBLACIÓN EXPUESTA	86
ANEXO E: CÁLCULO DE RIESGO	91

1. Introducción

El presente informe corresponde a la evaluación de los beneficios sociales en salud atribuibles a las modificaciones propuestas para las normas de calidad primaria incluidas en la Resolución 1215/78 del Ministerio de Salud. Los efectos estimados son producto de los cambios de concentraciones ambientales, generados por el cumplimiento de las normas propuestas con respecto a la evolución actual de las concentraciones.

1.1 Areas Geográficas de Estudio

La normativa de calidad primaria es de carácter nacional por lo que en rigor una estimación de beneficios en salud debe abarcar geográficamente todo el país y en particular las zonas pobladas. Esto no es posible debido a distintos factores, principalmente por la no existencia de monitoreo de calidad de aire en todas ciudades del país, por lo tanto, no hay información sobre concentraciones atmosféricas a las que se ve expuesta el total de la población.

El presente análisis pretende estimar los beneficios o daños en salud producto del cambio de las actuales normas a las normas propuestas. Para calcular este aumento ó disminución de beneficios se han seleccionado una serie de ciudades a lo largo de Chile. El criterio de selección de estas ciudades ó comunas corresponden a las ciudades donde el monitoreo de las concentraciones indica que actualmente se sobrepasa (o se encuentra en latencia) el valor norma de calidad primaria vigente y/o la normativa propuesta. Para cada uno de los lugares estudiados se analizó en detalle las zonas donde se han detectado los mayores impactos. La siguiente tabla muestra las "áreas de influencia mínima" que corresponden a los sectores circundantes a las fuentes emisoras y las "áreas de impacto" que se refieren a los lugares en los cuales por distintos métodos de monitoreo, ya sea, por estaciones monitorea, tubos pasivos ó por modelación de dispersión de los contaminantes se ha logrado establecer una asociación entre los niveles de concentración en estas áreas y los niveles de concentración ó de emisiones en los sectores estudiados.

Tabla 1.1 Zonas Geográfica de Influencia

Zonas/Fuentes:	Estación de Monitoreo	Area Influencia Mínima	Area de Influencia
Región Metropolitana (03, CO)	MACAM	Provincia de Santiago	-----
Emisiones Altonorte (SO ₂)	La Negra	La Negra	-----
Emisiones Paipote (SO ₂)	Paipote	Copiapó, Tierra Amarilla	-----
Sector de Hijuelas (O ₃)	Hijuelas	Hijuelas	-----
Emisiones ENAMI y Chilgener Ventanas (SO ₂)	Los Maitenes	Puchuncaví	Valparaíso, Viña del Mar
Talcahuano (SO ₂)	Bomberos	Talcahuano	-----

2. Metodología para el cálculo de efectos en salud

2.1 Esquema del método

La metodología utilizada para la evaluación de los efectos en salud consiste en un análisis de riesgo cuantitativo, donde se modela la relación existente entre los cambios de concentraciones ambientales y los cambios en el bienestar social.

Su desarrollo incluye las siguientes etapas:

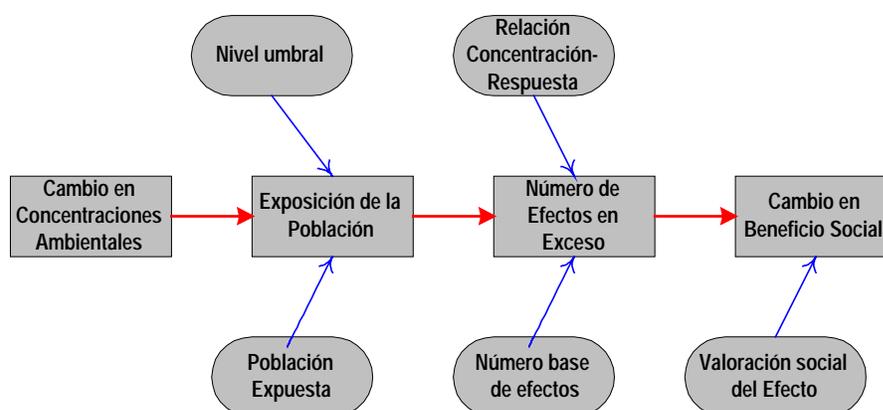


Figura 2.1 : Esquema de análisis

Previa descripción de la cada una de las etapas de la metodología utilizada para la evaluación de los beneficios sociales, es necesario comprender las definiciones de ciertos términos comúnmente utilizados en el cálculo de la exposición y del número de efectos causados por los distintos contaminantes atmosféricos, tales como, *Relación Concentración-Respuesta*, *Riesgo Relativo* y *Odds Ratio*, los cuales se describen brevemente en la sección siguiente.

2.2 Cálculo del cambio de efectos en la salud

La relación Concentración-Respuesta se define como la función que permite asociar cuantitativamente las concentraciones de un contaminante atmosférico y su incidencia en la salud de la población. Por lo general, las funciones Concentración-Respuesta (C-R) son el resultado de estudios de carácter epidemiológico cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente (*beta*) de la curva que representa la función C-R obtenida, ó el riesgo relativo para

una variación de la concentración del contaminante; conjuntamente con otra serie de características tales como la existencia o no-existencia de un umbral, la forma funcional de la relación, y las poblaciones afectadas.

2.2.1 Métricas para la Evaluación del Riesgo

2.2.1.1 Riesgo relativo (RR)

El *RR* se define como el aumento o disminución en los efectos, producto del cambio en las concentraciones del contaminante en estudio; relativo a un efecto inicial “p1” cuando se evalúa un cambio de una concentración inicial X_0 a una concentración X_1 .

En general, se habla de cambios relativos en la frecuencia de los efectos, ya que, se considerara más apropiado utilizar un riesgo relativo a un riesgo absoluto, principalmente en el caso de utilizar este valor en otro contexto geográfico. De esta forma se obtiene el riesgo de cierta concentración, relativo por ejemplo, a los efectos actuales o a la prevalencia de cierto efecto en el lugar estudiado.

$$RR = p_2/p_1 \quad (1.1)$$

donde,

p_1 =Efectos producto de una concentración X_1 del contaminante, en un periodo de tiempo determinado.

p_2 =Efectos producto de una concentración X_2 , en un periodo de tiempo determinado.

Para ejemplificar, si se tiene un aumento de la concentración de un contaminante atmosférico de X_1 a X_2 (donde, $X_1 < X_2$ y por lo tanto $p_1 < p_2$) el riesgo relativo obtenido es mayor que 1, es decir, aumenta el riesgo de sufrir el efecto al aumentar la concentración del contaminante.

2.2.1.2 Odds ratio (OR)

$$OR = p_2(1-p_1)/p_1(1-p_2)$$

donde,

p_1 = es la probabilidad de sufrir de un efecto a una concentración X_1 .

p_2 = es la probabilidad de sufrir de un efecto a una concentración X_2 .

En este caso el “OR” se define utilizando la probabilidad de que un individuo sufra un determinado efecto. Si se conoce el valor de OR y la probabilidad actual de sufrir el efecto, es posible obtener el valor de la nueva probabilidad producto de un cambio de la concentración del contaminante, como se explica más adelante en este mismo capítulo.

Ambas relaciones matemáticas son empleadas frecuentemente para el cálculo de la exposición de un individuo, su uso depende del tipo de función de regresión utilizada en los estudios epidemiológicos. Actualmente las más usadas son las funciones Poisson, Logística y Lineal las cuales se describen a continuación.

2.2.2 Relaciones Concentración-Respuesta

2.2.2.1 Lineal

En algunos estudios (estudios transversales principalmente), las relaciones concentración-respuesta se han modelado como funciones lineales. En estos casos, el número esperado de efectos esta dado por:

Sea una relación lineal:

$$E[Y / x, z] = \beta x + c' z \quad (1.3)$$

donde,

Y= Incidencia ó tasa de efectos.

x = Concentración del contaminante (variable independiente de interés).

β = Coeficiente C-R, relacionado con la variable independiente de interés.

z = Vector de las covariables.

c = Parámetros.

El número de efectos debido a un cambio de la concentración del contaminante "x₀" a una nueva concentración "x", se obtiene como:

$$\Delta Y = Y - Y_0 = \beta * (x - x_0) = \beta * \Delta x$$

donde,

x₀ = Concentración observada del contaminante.

x = Concentración alternativa o nueva concentración del contaminante.

Y₀ = Incidencia ó tasa de efecto observados a la concentración actual x₀.

Y = Incidencia ó tasa de efecto a la nueva concentración x.

β = Coeficiente de la función C-R.

2.2.2.2 Poisson

La función de regresión Poisson se define como:

$$\text{Log } E(Y/x, z) = \alpha + \beta x + c'z \quad (1.4)$$

es decir;

$$E(Y/x, z) = \exp[\alpha + \beta x + c'z] \quad (1.5)$$

donde,

Y = Incidencia ó tasa de efectos.

x = Concentración del contaminante (variable independiente de interés).

z = Vector de las covariables.

α, β, c = Parámetros.

El riesgo relativo definido anteriormente como $RR = p_2/p_1$, lo podemos expresar en este caso, como la razón entre la tasa esperada de efectos a un nivel "x=x_j" de concentración del contaminante relativo a la tasa de efectos a concentración "x=x_i", donde $x_j = x_i + \Delta x$

$$\begin{aligned} RR = RR(x_j - x_i) &= \frac{E[Y/x_j, z]}{E[Y/x_i, z]} = \frac{E[Y/x_i + \Delta x, z]}{E[Y/x_i, z]} \\ &= \exp[\beta(\Delta x)] = \exp[\beta(x_i - x_j)] \end{aligned} \quad (1.6)$$

En los estudios epidemiológicos la función concentración respuesta tipo Poisson generalmente se encuentra escrita de la siguiente forma:

$$E(Y/x) = b \exp[\beta x] \quad (1.7)$$

donde,

x = Nivel de la variable independiente de interés (concentración del contaminante).

Y = Incidencia ó tasa de efecto a una concentración x.

b = Tasa base observada de efectos a x= 0.

β = Coeficiente del contaminante x.

Si se desea obtener el número de efectos en exceso debido a un cambio de la concentración del contaminante "x₀" y una nueva concentración "x", definimos:

x₀ = Concentración actual del contaminante.

x = Concentración alternativa o nueva concentración.

Y_0 = Incidencia ó tasa de efecto observados a la concentración actual x_0 .

Y = Incidencia ó tasa de efectos a la concentración x .

El *delta de efectos* debido a un cambio $\Delta x = x - x_0$ en las concentraciones ambientales corresponde a:

$$E(\Delta Y / \Delta x) = \exp \beta(x - x_0) * Y_0 - Y_0 \quad (1.8)$$

$$E(\Delta Y / \Delta x) = Y_0 [\exp \beta(x - x_0) - 1] \quad (1.9)$$

$$E(\Delta Y / \Delta x) = Y_0 [RR_{\Delta x} - 1] = \text{Tasa base} * [RR_{\Delta x} - 1] \quad (1.10)$$

Según la definición anterior " x_0 " representa la concentración observada del contaminante, por lo tanto, Y_0 corresponde la tasa base del efecto a la concentración atmosférica observada.

Finalmente el número esperado de efectos en exceso para un $\Delta X = X - X_0$ se obtiene multiplicando la ecuación 1.10 por la población expuesta.

$$E[\text{Efectos}(X - X_0)] = \text{Tasa base}_0 * \text{Población expuesta} * [RR_{(X - X_0)} - 1] \quad (1.11)$$

Lo que podemos observar gráficamente en la siguiente figura, en la cual se tomó a modo de ejemplo, el caso de la bronquitis:

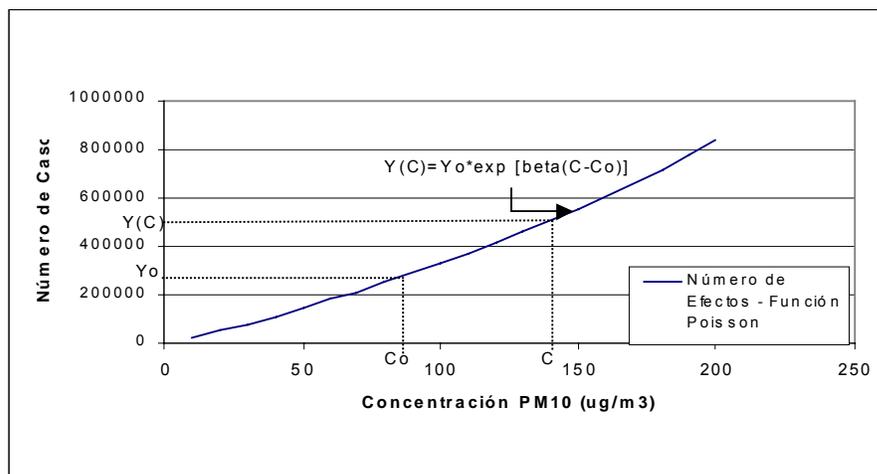


Figura 2.2 : Regresión Tipo Poisson (Ej.: C-R Bronquitis)

2.2.2.3 Linealización del "Modelo Poisson"

Los valores de los coeficiente β_i son generalmente bastante pequeños (del orden de 10^{-3} o menores), por lo que para cambios pequeños en las concentraciones ambientales estas relaciones pueden ser linealizadas donde el error generado es pequeño. A continuación se presentan las aproximaciones lineales para el caso en que el coeficiente de la función concentración-respuesta utilizada provenga de una función tipo Poisson.

De la ecuación 1.11 tenemos que el número de casos en exceso esta dado por:

$$E [\text{Efectos } (\Delta x)] = \text{Tasa base} * \text{población expuesta} [\exp(\beta \Delta x - 1)]$$

Utilizado la serie de Taylor para $\exp(\beta x)$, donde:

$$\exp(\beta x) = 1 + \frac{\beta x}{1!} + \frac{(\beta x)^2}{2!} + \dots \approx 1 + \beta x \quad (1.12)$$

Reemplazando, obtenemos que el número esperado de efectos en exceso puede expresarse como:

$$E [\text{Efectos } (\Delta x)] = \text{Tasa base} * \text{población expuesta} * \beta * \Delta x \quad (1.13)$$

La siguiente figura muestra la función Poisson vs el caso de la función linealizada

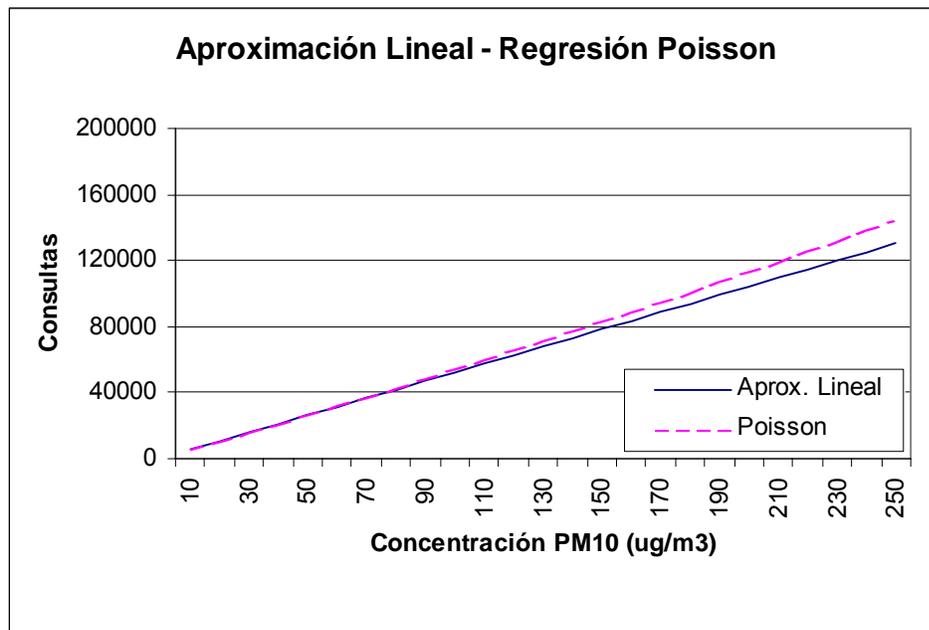


Figura 2.3 : Aproximación Lineal Regresión tipo Poisson (Ej.: Consultas Respiratorias)

2.2.2.4 Logística

En la función de regresión logística la probabilidad de ocurrencia de un suceso se define como:

$$p(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x + c'z)}{1 + \exp(\alpha + \beta x + c'z)} \quad (1.14)$$

donde,

x = Nivel de la variable independiente de interés (concentración del contaminante).

$p(x)$ = Probabilidad de sufrir el efecto estudiado a una concentración x .

z = Vector de las covariables.

α, β, c = Parámetros.

En el caso particular de la función logística, es más conveniente el utilizar la definición de "Odds ratio" previamente obtenida (ec.1.2)

$$OR = \frac{p_2(1-p_1)}{p_1(1-p_2)}.$$

tenemos,

$$OR(\Delta x) = \frac{E[Y / x_j, z] * [n(x_j, z) - E(Y / x_i, z)]}{E[(Y / x_i, z)] * [n(x_j, z) - E(Y / x_j, z)]} = \exp[\beta(x_j - x_i)] \quad (1.15)$$

por lo tanto, si se trata de una función logística podemos calcular la Odds Ratio¹ como:

$$OR_{\Delta x} = \exp[\beta * (x_j - x_i)] \quad (1.16)$$

Para la obtención del aumento o disminución de la probabilidad de sufrir el efecto, debido a un cambio de la concentración actual del contaminante “x₀” vs una nueva concentración “x”, definimos:

x₀ = Concentración actual del contaminante.

x = Concentración alternativa o nueva del contaminante.

p₀ = Probabilidad de sufrir el efecto a la concentración observada x₀ (dato estadístico).

p = Probabilidad esperada a la nueva concentración x.

Utilizando el valor obtenido de OR y la probabilidad de sufrir el efecto “p₀”, se procede a calcular la nueva probabilidad “p” a una concentración “x” cualquiera del contaminante.

$$p = \frac{OR_{\Delta x} * p_0}{1 - p_0 + OR_{\Delta x} * p_0} \quad (1.17)$$

Finalmente el número esperado de casos en exceso debido a un aumento de concentraciones de x₀ a x lo obtenemos como,

$$E[\text{Efectos}(\Delta x)] = (p - p_0) * \text{Población expuesta} \quad (1.18)$$

¹ La ecuación obtenida es similar a la definición de RR para la regresión tipo Poisson.

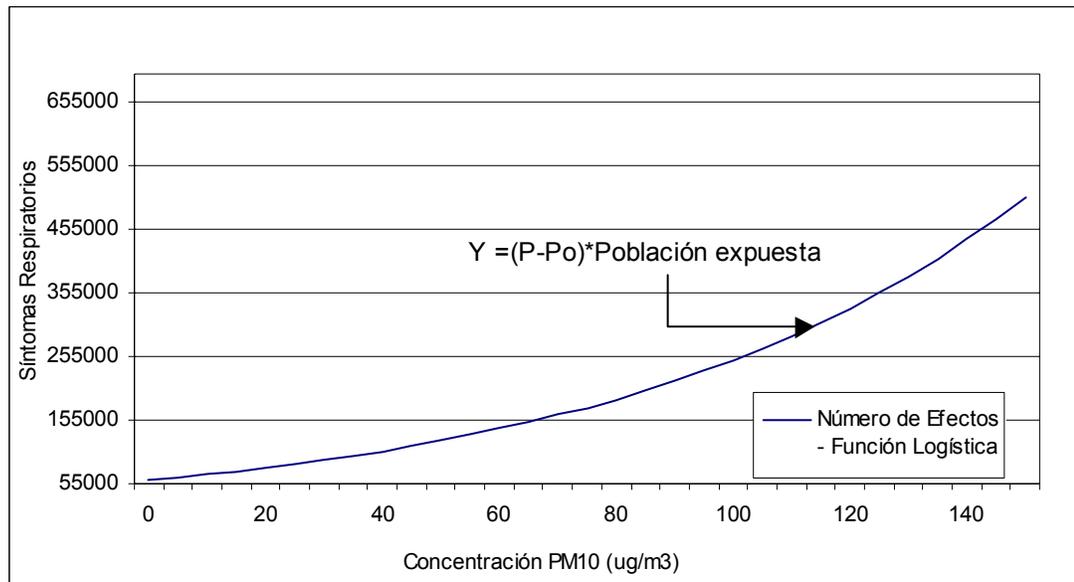


Figura 2.4 : Regresión Logística (Ej.: C-R Síntomas respiratorios)

2.2.2.5 Linealización de la “Regresión Logística”

De la ecuación 1.18 tenemos que el número de casos en exceso está dado por:

$$E [\text{Efectos}(\Delta x)] = (p-p_0) * \text{Población expuesta} \quad (1.19)$$

donde

$$p = \frac{\exp(\beta \Delta x) * p_0}{1 - p_0 + \exp(\beta \Delta x) * p_0} \quad (1.20)$$

Multiplicando numerador y denominador por $\frac{1}{p_0 * \exp(\beta \Delta x)}$ y ordenando se tiene :

$$p = \frac{1}{(1 - p_0 / p_0) * \exp(-\beta \Delta x) + 1} \quad (1.21)$$

Utilizando la serie de Taylor para $\exp(\beta x)$, donde:

$$\exp(-\beta x) = 1 - \frac{\beta x}{1!} + \frac{(\beta x)^2}{2!} + \dots \approx 1 - \beta x \quad (1.22)$$

Reemplazando, obtenemos

$$p = \frac{1}{(1 - p_0 / p_0) * (1 - \beta * \Delta x) + 1} \quad (1.23)$$

$$\text{Sea } a = \frac{1 - p_0}{p_0} \quad \text{y} \quad b = \frac{1 + a}{a * \beta} \quad (1.24)$$

tenemos,

$$p = \frac{1}{a * \beta} * (b - \Delta x)^{-1} \quad (1.25)$$

Por serie de Taylor

$$(b - x)^{-1} \approx b^{-1} + b^{-2} * x + \frac{2b^{-3} * x^2}{2!} + \dots \approx b^{-1} + b^{-2} * x$$

Por lo tanto

$$p = \frac{1}{a * \beta} * (b^{-1} + b^{-2} * \Delta x) \quad (1.26)$$

Finalmente con "a" y b" (ec. 1.24) se obtiene:

$$p = \frac{1}{1 + (1 - p_0 / p_0)} + \frac{(1 - p_0 / p_0) * \beta}{[1 + (1 - p_0 / p_0)]^2} * \Delta x \quad (1.27)$$

Reemplazando el valor de "p" en la ecuación (1.19), se obtiene que el número de casos debido al delta de concentración es:

$$E[\text{Efectos}(\Delta x)] = \left[\left(\frac{1}{1 + (1 - p_0 / p_0)} + \frac{(1 - p_0 / p_0) * \beta}{[1 + (1 - p_0 / p_0)]^2} * \Delta x \right) - p_0 \right] * P_{ob_{exp}} \quad (1.28)$$

Simplificando se obtiene finalmente:

$$E[\text{Efectos}(x - x_0)] = (1 - p_0) * p_0 * \beta * (x - x_0) * P_{ob_{expuesta}} \quad (1.29)$$

La siguiente figura corresponde a una comparación entre la regresión logística versus función logística linealizada.

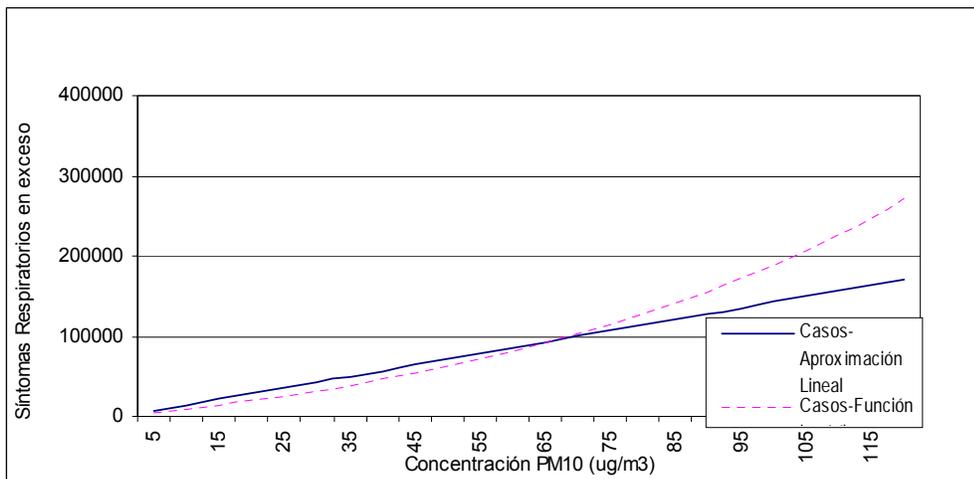


Figura 2.5 : Aproximación Lineal Regresión Logística

2.2.3 Exposición de la Población

Se entiende por “exposición” al delta de concentración de un contaminante al que se ve expuesta la población en un periodo determinado de tiempo. Por lo general, interesa conocer la exposición diaria y la exposición anual a la que se ve sometida la población en estudio.

Previo al cálculo de la exposición es necesario establecer la forma de la distribución de concentraciones a lo largo del tiempo. Este estudio trabaja bajo el supuesto de que las distribución anual de concentraciones atmosféricas se ajusta a una función LogNormal. Supuesto que se detalla a continuación:

2.2.3.1 Modelo de Distribución LogNormal para Concentraciones Atmosféricas

Como se indicó en la sección anterior se trabajará bajo el supuesto de que a la concentración atmosférica de un contaminante tiene una distribución anual LogNormal. Este supuesto se basa en que normalmente se ha observado que la función lognormal es un buen ajuste en la distribución de observaciones; más aun, en aquellos casos en que no se tienen valores negativos, existen muchas situaciones en que los científicos han utilizado la función LogNormal como modelo de ajuste, por ejemplo, en la distribución del tamaño de las partículas [Hatch 1933, Kolmogorov 1941, entre muchos otros]. La función también ha sido aplicada en la agricultura, economía, y en una serie de estudios biológicos y farmacéuticos.

A modo de ejemplo, en el caso de la Región Metropolitana, es posible representar la distribución de las concentraciones de PM10 (24hr) de 1996 como una función LogNormal con media 97.4 ug/m3 y desviación standard 45.9 ug/m3.

La fluctuación de concentraciones se representa por una distribución LogNormal (m , σ)

Sea

$$C_i = C_m * M_{1_i} * M_{2_i} * \dots * M_{N_i} \quad (1.30)$$

donde

C_i = concentraciones observadas (Concentraciones 24h).

C_m = conc. media anual.

M_i = factores relativos que afectan la concentración C_i ; por ejemplo, número de fuentes de emisión en funcionamiento, lugar geográfico, estación estival, entre otras.

entonces,

$$C_i = C_m * M_{1_i} * M_{2_i} * \dots * M_{N_i} / \log \quad (1.31)$$

tenemos,

$$\log C_i = \log C_m + \log M_{1_i} + \log M_{2_i} + \dots + \log M_{N_i} \quad (1.32)$$

Por el teorema del límite central, la suma de un número grande de valores distribuye Normal, es decir, "Log C_i " distribuye Normal. Por lo tanto, se puede afirmar que C_i distribuye LogNormal (m, σ), [Saltzman, 1997], donde:

m = mediana

σ = desviación estándar geométrica

Si aceptamos el hecho de que las concentraciones C_i distribuyen Lognormal; y tenemos $X=C_i$ entonces $\ln X$ distribuye Normal (ξ, σ) con función densidad:

$$f(x) = 1/\sigma x \sqrt{2\pi} \left(\exp\left(-\frac{[\ln x - \xi]^2}{2\sigma^2}\right) \right) \quad (1.33)$$

donde ξ = media y σ =desviación standard

$$\xi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (1.34)$$

$$\sigma = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \xi)^2 \right)^{1/2} \quad (1.35)$$

Observaciones:

- Si el delta de exposición anual es positivo corresponde a un aumento de la exposición con respecto a la concentración base observada.

- Si el delta de exposición anual es negativo corresponde a una disminución de la exposición con respecto a la concentración base observada.

2.2.3.2 Cálculo de la exposición

Una vez establecida la distribución de las concentraciones, es necesario conocer el valor de la diferencia de concentración entre un valor observado (concentración conocida que al cual le corresponde un número de efectos conocidos, en particular se utiliza la tasa base estadística de cada efecto, y la concentración media del año a la cual corresponde esta tasa) y la concentración a evaluar.

A continuación se detallan las ecuaciones utilizadas para el cálculo del delta de exposición entre la concentración de análisis C_i y la concentración base observada C_{obs} . En el caso, en que no se considera la existencia de una concentración umbral, se tiene:

Exposición Diaria (sin umbral):

$$\Delta \text{Exposición}(C_i - C_{obs}) = P_{ob_exp}(C_i - C_{obs}) \quad (1.36)$$

Exposición Anual (exposición diaria a lo largo del año):

En este caso se realiza una simulación de la distribución lognormal de las concentraciones diarias a lo largo del año (tanto de las concentraciones de análisis como de las concentraciones observadas), para luego calcular la exposición utilizando la ecuación 1.36. En otras palabras, se simulan ambas curvas y luego se restan, obteniendo de esta forma la distribución de los delta diario de concentración.

Exposición Anual (exposición diaria a lo largo del año, sin incorporar una concentración umbral):

$$\sum_{i=1}^{365} \Delta \text{Exp}(C_i - C_{obs}) = P_{ob_exp} * \sum_{i=1}^{365} (C_{obs} - C_i) \quad (1.37)$$

$$\sum_{i=1}^{365} \Delta \text{Exp}(C_i - C_{obs}) = P_{ob_exp} * (\bar{C} - \bar{C}_{obs}) * 365 \quad (1.38)$$

2.2.4 Tasa Base de Efectos

El número de efectos observados corresponde a información estadística sobre los efectos en salud evaluados en un lugar y periodo de tiempo determinado. Por lo general, los datos estadísticos disponibles nacionales ó internacionales corresponden al número de casos anuales contabilizados para cada efecto, no obstante dependiendo de la función dosis respuesta

estudiada y del tipo de análisis que se desee realizar es necesario conocer la cantidad de casos en un periodo de tiempo en particular (ya sea en un día, año ó estación del año) y para un grupo de población de un rango específico de edad.

La metodología empleada en el análisis de beneficios requiere que los estudios epidemiológicos consideren funciones de concentración basadas en la incidencia, ya sea diaria o anual, para cada uno de estos efectos. En el caso de las funciones C-R para efectos agudos esto siempre ocurre, por lo tanto, la información estadística requerida es el número de nuevos casos observados en un periodo de tiempo. En el caso de efectos crónicos no es tan simple, existen funciones concentración respuesta obtenidas en base a la prevalencia de un determinado efecto (Ej. Schwartz 1993, calcula la prevalencia de bronquitis crónica en la población) y otras con respecto a la incidencia anual del efecto en la población. En el primer caso la información estadística requerida corresponde a la prevalencia² del efecto mientras en el segundo caso es necesario conocer la incidencia de éste.

Independiente de la fuente donde se obtuvo la tasa observada, si la tasa real es mayor a la utilizada en el análisis, el número de efectos va ser subestimado. En el caso que la tasa observada utilizada es mayor a la real se estaría sobre estimando éste. El efecto de utilizar una tasa determinada se verá reflejado en el cambio de número de casos para ese efecto debido al delta de concentración, pero no afectará el porcentaje de cambio de un efecto dado un incremento o disminución de concentraciones.

Otro problema que puede ocurrir es la variación temporal de las tasas, tanto de mortalidad como de morbilidad, en los diferentes grupos de edad si la distribución de la población varía. Por ejemplo, un aumento de la población de ancianos o de niños (que corresponden a los grupos de edad más susceptibles) provocaría un cambio temporal en la tasa. En general se observa que este efecto es lo suficientemente pequeño, de tal forma que no genera una fuente grande de incertidumbre.

Junto con conocer el número de efectos observados, es necesario contar con el valor de la *concentración base observada*, la cual corresponde al valor medio de la concentración del contaminante en un periodo de tiempo determinado para el cual la tasa base (ó el número de efectos observados) es conocida. Lo anterior permite contar con una línea base de efectos a cierta concentración "x", a partir de la cual se calculan para cada periodo (día, año ó estación del año) el número de casos en exceso generados como consecuencia del nivel de concentración atmosférica del contaminante

2.2.5 Estimación de Efectos

A continuación se explica la metodología utilizada en cada una de las etapas indicadas en la Figura 2.1. Previa descripción de ésta es preciso señalar los siguientes aspectos.

² Prevalencia se define como el número total de casos en el periodo evaluado (prevalencia = casos existentes + incidencia (nuevos casos)).

2.2.5.1 Efectos agudos y Crónicos

Los efectos en la salud de contaminantes presentes en la atmósfera se pueden dividir en dos grandes grupos: efectos agudos (de corto plazo) y efectos crónicos (de largo plazo ó acumulativos).

Cada uno de estos efectos puede variar en severidad desde los cambios fisiológicos apenas perceptibles (como los cambios en la función pulmonar), a síntomas menores o disconfort, hasta la muerte (como el más grave de los efectos).

Los síntomas considerados en este estudio cubren un amplio rango de efectos que dependen del contaminante estudiado, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 : Efectos asociados a contaminantes atmosféricos

Contaminante	Efectos Considerados	
Ozono	Adm. Hospitalarias respiratorias Adm. Hospitalarias por COPD Adm. Hospitalarias por Neumonía Ataques de asma Visitas a salas de emergencia	Días de actividad restringida menor Consultas médicas respiratorias Disminución FEV Síntomas Respiratorios
SO2	Adm. Hospitalarias por Enf. Cardiacas Días de actividad restringida Síntomas respiratorios bajos	Días de actividad restringida Días de actividad restringida menor
CO	Adm. Hospitalarias Cardiovasculares Adm. Hospitalarias Cardio Congestiva Adm. Hospitalarias Cardio Isquémica	Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva

La asociación entre los efectos y cada uno de los contaminantes se han obtenido a través de estudios epidemiológicos tanto nacionales como internacionales. Los efectos considerados en este estudio son de tipo agudo. En lo que respecta a efectos crónicos, no han sido incluidos en el análisis, ya que, en general los estudios nacionales e internacionales indican una mayor asociación entre esta clase de efectos y el Material Particulado, contaminante no evaluado en el presente estudio.

2.2.5.2 Agregación Temporal de los efectos

En el cálculo de los efectos agudos es necesario contar con la exposición de la población, los coeficientes C-R agudos y los modelos matemáticos linealizados descritos en la sección 2.2.1. Con estos tres elementos es posible calcular el delta de efectos esperados para cada año.

$$\sum_{i=1}^{365} \Delta Efectos(C_i - C_{obs}) = E_{obs} * \beta * \Delta Exposición$$

donde,

C_i = Concentración de análisis C_i diaria

C_{obs} = Concentración base observada

β =Coeficiente de la función dosis respuesta

E_{obs} =Número de efectos base observados

$$\Delta \text{Exposición}_{\text{anual}} = \sum_{i=1}^{365} \Delta \text{Exp}(C_i - C_{obs}) = P_{ob_{exp}} * \sum_{i=1}^{365} (C_{obs} - C_i)$$

Como primer paso, se calcula el delta de exposición entre la concentración de análisis y la concentración observada, para luego realizar el cálculo de los efectos totales esperados para cada nivel de concentración (estos incluyen todos aquellos efectos producto o no de la contaminación, en otras palabras corresponden a la suma entre el efecto base observado y el delta efectos calculado).

En general lo que interesa evaluar es la diferencia entre el número de efectos de un caso de estudio con respecto un *caso base*. El *caso base* por lo general corresponde al escenario de evolución de las concentraciones esperadas en el lugar de estudio. Lo que entrega el delta de efectos entre el caso de estudio y el caso base.

Por otra parte, si tomamos como caso base una concentración 0 de contaminante constante en el tiempo, este último más que un posible caso base cumple con el objetivo de calcular fácilmente los efectos en exceso correspondientes al contaminante; es decir, se resta del total de efectos calculado aquellos casos producto de otras causas distintas a la contaminación, como pueden ser enfermedades previas, alergias, tabaco, entre otros y se obtiene el número de efectos provocados solamente por el contaminante.

Finalmente, es preciso señalar la incorporación del efecto de un umbral agudo en el delta de exposición, es decir, el considerar la existencia de un valor de concentración bajo el cual no se observan efectos en salud en el modelo depende del contaminante en estudio.

En lo que respecta al cálculo de efectos crónicos, la metodología utilizada es similar a la de los efectos agudos, con dos principales diferencias por tratarse de efectos acumulativos en el tiempo, se utilizan tasa bases anuales y concentraciones medias anuales. Por otra parte, el cálculo con umbral incorpora en este caso el umbral crónico correspondiente.

2.2.5.3 Consideración de doble conteo de efectos

Se utiliza un proceso de agregación de efectos de modo de evitar el doble conteo. Este doble conteo en principio se puede deber a dos causas. La primera de ellas, una superposición de efectos, es decir, cuando un efecto considerado es un subconjunto de otro ya existente. Por ejemplo, los días de ausencia laboral están incluidos en el número de días de actividad restringida en la población adulta. Cabe señalar que es muy importante considerar esta corrección no solamente por el doble conteo de los casos, si no que también por la distinta valorización que puede darse entre el efecto y el subconjunto considerado, la cual puede ser muy significativa. Esto corresponde al caso del ejemplo anterior, en que el valor asignado a un día de ausencia del trabajo supera enormemente el valor de un RAD (día de actividad restringida).

En general, los estudios epidemiológicos están basados en la observación de los cambios en la salud de un grupo de individuos de cierta edad (población de una edad específica) relacionados

con la variación de la concentración de uno o más contaminantes atmosféricos. Por lo cual, las funciones concentración respuesta obtenidas en estos estudios corresponden a relaciones que en principio debieran ser aplicadas a un sector de población equivalente, es decir, a un grupo de la misma edad en el lugar en que se aplica el estudio. También podemos encontrar relación concentración-respuesta de estudios que consideran el total de la población de un determinado lugar, en estos casos la relación obtenida es extrapolable al total de la población del lugar estudiado.

En el caso de contar con estudios epidemiológicos que analizan un mismo efecto tanto para un grupo de edad específico y como para la población total; se consideraron inicialmente aquellas funciones específicas sobre un grupo de edad. En lo que respecta a la población restante (descontados los individuos ya incluidos en la relación concentración-respuesta específica) se utilizaron aquellas funciones calculadas a través de estudios asociados a la población total.

2.3 Factores que modifican los efectos

2.3.1 Grupos Étáreos

Los estudios epidemiológicos por lo general se enfocan hacia un grupo relativamente homogéneo de población, ya sea, según la edad, condiciones previas de salud (ej. Población asmática), sexo, etc., lo que permite identificar aquellos grupos más sensibles a los niveles de concentración. No obstante, existen estudios que analizan a la población como un todo. En cada uno de estos casos, es necesario aplicar el ó los resultados de las investigaciones sobre el mismo grupo de población en el lugar a estudiar.

En lo que respecta a la desagregación por edad, los estudios comúnmente consideran tres grupos, "*población adulta*", individuos entre de 20 y 64 años de edad; personas "*mayores de 64 años*" y "*niños*", en este último grupo es donde no existe una definición estándar que entregue una edad máxima o mínima, es decir, en muchos casos la población infantil corresponde a niños en edad escolar (menores a 18 años ó subgrupos de éstos), mientras que en otros casos se investiga a población de 1 año o menor.

Por lo tanto, en el cálculo de los efectos en salud se ha considerado como población expuesta solamente aquella población que se encuentra en el rango de edad definido por el estudio epidemiológico utilizado.

Los efectos se han calculado, cuando ha sido posible, para uno o más grupos de edad. En ciertos casos esta división no está disponible, siendo la única estimación disponible aquella para la población total.

Debido a la diversidad de grupos de edad incluidos en las funciones concentración –respuesta, se a decidido definir tres grupos étáreos como una herramienta para la agregación de los resultados del estudio de beneficios.

- Niños (0 a 19 años)
- Adultos (20 a 64 años)
- Mayores de 64 años.

2.3.2 Resolución Geográfica

La población se encuentra expuesta a concentraciones ambientales variables geográficamente. Sin embargo, usualmente estas concentraciones se miden solo en algunos determinados sectores del lugar en estudio. En la RM las concentraciones se han medido hasta el año 1997, solamente en cinco lugares geográficos, a partir de esta fecha la red de monitoreo consta de ocho estaciones de medición en la región. Al suponer que la población se encuentra expuesta a una concentración uniforme geográficamente (por ejemplo, al promedio de las concentraciones de todos los monitores) se produce un error que será más pronunciado cuanto menos uniforme sea la distribución geográfica del contaminante. No obstante, en ausencia de un modelo atmosférico adecuado, la única alternativa factible es considerar una exposición uniforme de toda la población.

Este error no es muy grande cuando los coeficientes de los modelos de efectos han sido calculados basándose en estas mismas medidas de exposición. Por ejemplo, si en el caso de la Región Metropolitana los modelos se hubiesen estimado utilizando la media de los monitores como medida de exposición (como es el caso de los estudios de mortalidad prematura y consultas por IRA baja realizados en Chile³), este error es inexistente, siempre que la distribución espacial de la población y de la contaminación no hubiese cambiado en el tiempo.

³ Cifuentes et. al ., 2000; Ostro et al.1999

3. Valoración de efectos en salud

Una vez estimado el número de efectos asociados a un cambio en concentraciones, es necesario valorarlos socialmente para estimar la pérdida de bienestar social.

La siguiente tabla muestra los valores propuestos para cada efecto (valores medios) actualizados a dólares del año 2000:

Tabla 3.1 Valoración Unitaria de efectos (US\$ 2000)

Efecto	Grupo de Edad	Mediana	Referencia
Muertes Prematuras	Total	\$ 365,608	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Respiratoria	Total	\$ 1,521	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Respiratoria	65 años y más	\$ 3,020	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. COPD	Total	\$ 2,019	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. COPD	65 años y más	\$ 3,914	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Cardiovasculares	65 años y más	\$ 3,720	Holtz 2000
Admisión Hospitalarias Enf. Cardio Congestiva	Total	\$ 2,069	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Cardio Congestiva	65 años y más	\$ 4,138	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Cardio Isquémica	Total	\$ 2,568	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Cardio Isquémica	65 años y más	\$ 5,135	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Neumonía	Total	\$ 1,969	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Neumonía	65 años y más	\$ 3,964	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Pulmonares Obstructivas	Total	\$ 2,019	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Pulmonares Obstructivas	65 años y más	\$ 3,914	Cifuentes & Ojeda 1998
Admisión Hospitalarias Enf. Asma	Total	\$ 849	Eixhauser 1993
Admisión Hospitalarias Enf. Disritmias	Total	\$ 1,471	Eixhauser 1993
Ataques de Asma	Total	\$ 8	EPA 2000
Visitas Sala Emergencia Asma	Total	\$ 58	Cifuentes & Ojeda 1998
Consultas Infantiles IRAbaja	0-19 años	\$ 179	Dessus & O' Connor 1999
Días de Actividad Restringida Menor (MRADs)	20-64 años	\$ 9	EPA 2000
Síntomas Respiratorios	20-64 años	\$ 4	EPA 2000

Los valores de los diferentes efectos, incluyendo mortalidad prematura, fueron recopilados de estudios nacionales y extranjeros, principalmente de EE.UU., y transferidos a la realidad chilena usando la razón entre el ingreso per capita de ambos países. Estos valores corresponden generalmente a la disposición al pago total.

El estudio de Cifuentes & Ojeda 1998 utiliza la técnica de transferencia de beneficios teniendo como referencia los valores de USEPA 1997. Entregando el valor del efecto en Chile y su distribución asociada. Se plantea la transferencia de valores desde países desarrollados como son EE.UU y Canadá, utilizando las diferencias existentes entre el ingreso per cápita de cada país y la elasticidad de la disposición al pago de los individuos ante un cambio en su nivel de ingreso.

En la transferencia de valores se debe tomar en cuenta ciertos aspectos de tipo socioeconómicos y culturales de la población que puedan tener un impacto sobre el dato a

transferir, por lo que los valores obtenidos deben respetar ciertos criterios mínimos de consistencia.

La transferencia de beneficios entre un país a otro, posee como base teórica el hecho que el nivel de ingreso y la calidad de vida del individuo están altamente correlacionados, es decir, a medida que el ingreso aumenta, el individuo estaría dispuesto a pagar una mayor cantidad por evitar un episodio dañino a su salud, por lo que según la definición para la disposición a pagar (DAP), el valor final para cierto efecto a la salud de una población determinada debería ser función directa del nivel de ingreso de esa población.

Por otro lado el estudio de Holtz 2000 realiza la estimación de costos asociados a morbilidad considerando los costos directos relativos a cada enfermedad en Chile (método de *Costo-Enfermedad*). Esta metodología mide los costos médicos o de tratamiento asociados a las distintas enfermedades y la pérdida de productividad que se produce debido a la enfermedad. Este enfoque tiene la ventaja práctica de su fácil comprensión y aplicación además de estar basado en datos objetivos del mercado. Sin embargo, subestima los efectos adversos en la salud dado que no considera todos los costos en los que incurre un individuo al enfrentar una enfermedad. Entre los costos que no se incluyen destacan los gastos preventivos que las personas efectúan para evitar una determinada enfermedad. Este método tampoco incluye una serie de otros costos sociales y económicos como las restricciones a actividades recreativas, el dolor y sufrimiento de la enfermedad e inconvenientes para otros miembros de la familia.

Entre los costos de tratamiento se deben considerar los referidos a las consultas médicas y de hospitalización. La pérdida de productividad se calcula sobre la base de los salarios diarios promedios de las personas afectadas. Se considera entre estos costos los de adultos que cuidan de niños menores.⁴

El estudio de Holtz, posee la ventaja de haber construido los perfiles epidemiológicos de pacientes en Chile y haber considerado costos nacionales, cabe señalar, que el estudio entrega solamente valores centrales para cada efecto. Al comparar estos valores con los de Cifuentes & Ojeda 1998, vemos que los valores son muy similares y en todos los casos los valores de Holtz caen dentro del intervalo de confianza de los valores encontrados en el estudio de Cifuentes & Ojeda 1998.⁵

⁴ Holtz 2000

⁵ Para un mayor detalle de la valoración por efecto utilizada y de su función distribución consultar la referencia correspondiente.

4. Aplicación del método

4.1 Selección de los efectos a considerar

4.1.1 Criterio para seleccionar estudios

La relación Concentración-Respuesta se define como la función que permite asociar cuantitativamente la concentración de un contaminante atmosférico con su incidencia en la salud de la población. Por lo general las funciones Concentración-Respuesta (C-R) son el resultado de estudios de carácter epidemiológico, cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente (*beta*) de la curva que representa la función C-R obtenida, ó el riesgo relativo para una variación de la concentración del contaminante; conjuntamente con otra serie de características tales como la existencia o no-existencia de un umbral, la forma funcional de la relación, y las poblaciones afectadas

Las funciones Concentración-Respuesta (también llamadas relaciones Exposición-Respuesta) propuestas en el presente análisis fueron seleccionadas de los estudios actualmente disponibles. Se realizó una extensa revisión de estudios epidemiológicos nacionales e internacionales. En los casos donde se cuenta con más de una función concentración respuesta para una misma categoría de efectos, se procedió a realizar un “pooled analysis”, es decir, se obtuvo un coeficiente producto de la combinación de las funciones encontradas en la literatura. Es necesario destacar, que la función así calculada entrega una incertidumbre menor a la correspondiente a cada estudio por separado, como se explica en la sección 4.1.5.

A continuación se establecen los criterios utilizados en selección de los estudios; se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- Estudios con sólida base científica, de un diseño estadístico apropiado y que han considerado ajuste por distintos factores confundentes tales como el clima, edad, patrones de comportamiento, etc.
- Se seleccionaron aquellos estudios en que los contaminantes analizados corresponden específicamente a los considerados en el presente estudio, es decir, Ozono, SO₂, etc, con lo que se trató de evitar el tener que convertir de otras medidas o contaminantes distintos a los utilizados en el modelo. No obstante, para algunos efectos fue necesario utilizar conversiones.
- Estudios asociados con concentraciones atmosféricas de los contaminantes, eliminando de esta forma los estudios relacionados con concentraciones intradomiciliarias de los contaminantes.
- Estudios que entregaran relaciones concentración respuesta para efectos definidos en forma específica (donde se indica el código ICD correspondiente ó una descripción detallada que no permita confusión con otro tipo de efecto).
- Han sido consideradas solamente publicaciones que estudian efectos que pueden ser valorados monetariamente. Otros efectos, como son todos los efectos fisiológicos menores,

como cambios en la capacidad expiratoria forzada y otros cambios de la función pulmonar que influirían en el beneficio social resultante deberían ser incorporados en un análisis futuro cuando sea posible su valoración.

- Estudios que contienen funciones C-R que son linealizables, independientes de concentraciones base.

Finalmente, se han considerado solamente estudios epidemiológicos, es decir, no se incorporaron estudios clínicos o experimentales (en humanos o animales). Se excluyeron aquellos análisis que no presentaran información sobre varianza, desviación estándar ó intervalos de confianza.

4.1.2 Proposición de coeficientes C-R O3

Tabla 4.1 Coeficientes de las relaciones concentración-respuesta propuestas para O₃

Efecto	Grupo Edad	Valor medio	Std Err	Medida	Cont. Modelo	Fuente
Muertes Prematuras	Total	0.00025	0.00010	Max1h	PM2.5	Cifuentes et al.2000
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	> =65	0.00090	0.000327	Max1h		Pooled Schwartz 1996 (Spokane, Cleveland)
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	Total	1.68E-08	9.71E-09	Max1h	PM2.5	Thurston et al, 1994 (Canada)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	> = 65	0.00462	0.007736	Max1h	-	Schwartz et al, 1996 (Spokane)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	> = 65	0.00965	0.006008	Max1h	-	Schwartz et al, 1996 (Spokane)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	Total	1.10E-08	5.92E-09	Max1h	PM2.5	Thurston et al.,1994 (Toronto)
Ataques de Asma	Asmáticos	0.00184	0.000715	Max1h	TSP	Whittemore & Korn, 1980 (Los Angeles)
Visitas Sala Emergencia Asma	Total	2.80E-08	1.44E-08	Max1h	-	Stieb et al.1996 (Canada)
Consultas Infantiles IRAbaja	3-15	0.00154	0.000460	Max1h	PM10	Ostro et al. 1999 (Santiago, Chile)
MRADs	18-65	0.00220	0.000658	Max1h	PM2.5	Ostro & Rothschild, 1989
Síntomas Respiratorios	18-65	0.00014	0.000067	Max1h	SO2, O3	Krupnick, 1990
Muertes Prematuras	Total	0.00078	0.00017	24h	TSP	Pooled Hoek et al. 1997 ,Moolgavkar et al. 1995, Samet et al. 1997
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	> =65	0.00368	0.001229	24h	PM10	Pooled Schwartz 1995 (New Haven, Tacoma)
Adm. Hosp. RSP (ICD 464, 466, 480-487,494)	Total	0.00198	0.000520	24h	PM2.5, NO2	Burnett et al.,1999 (Toronto)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	> = 65	0.00274	0.001700	24h	PM10,S O2, NO2	Moolgavkar et al.,1997 (Minneapolis, MN)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	> = 65	0.00370	0.001030	24h	PM10, SO2, NO2	Moolgavkar et al.,1997 (Minneapolis, MN)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	0.00303	0.001100	24h	CO, PM _{2.5-10}	Burnett et al., 1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	Total	0.00250	7.18E-04	24h	CO, PM _{2.5-10}	Burnett et al.,1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Disritmia (ICD 427)	Total	0.00168	0.001030	24h	CO, PM2.5	Burnett et al., 1999 (Toronto)

4.1.3 Proposición de coeficientes C-R SO₂

Tabla 4.2 Coeficientes de las relaciones concentración-respuesta propuestas para SO₂

Efecto	Grupo de Edad	Valor medio	Std Err	Medida	Otros Cont. modelo	Fuente
Adm. Hosp. RSP (ICD 464-466,480-486,490-494,496)	Total	0.00446	0.00293	Max1h	PM2.5-10, NO ₂ , O ₃	Burnett et al, 1997 (Canada)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	0.00022	0.00018	Max1h	-	Anderson et al. 1997
Mortalidad (prematura)	Total	0.00129	0.00021	24h	-	Pooled: Moolgavkar 1995, Katsouyanni 1997
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	15-64	0.00128	0.00064	24h	-	Vigotti et al, 1996 (Milan)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	65+	0.00103	0.00058	24h	-	Vigotti et al, 1996 (Milan)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	Total	0.00177	0.00085	24h	NO ₂	Burnett et al, 1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	65+	0.00143	0.00290	24h	O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀	Moolgavkar et al. 1997 (Minneapolis)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	0.00044	0.00037	24h	-	Anderson et al. 1997
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	<15	0.00379	0.00144	24h	NO ₂	Sunyer et al. 1997 (Londres, Helsinki, París)

4.1.4 Proposición de coeficientes C-R CO

Tabla 4.3 Coeficientes de las relaciones concentraciones-respuesta propuestas para CO

Efecto	Grupo de Edad	Coef. Valor medio	Std Err	Medida	Otros Cont. en el modelo	Fuente
Adm. Hosp. Cardiovasculares (ICD 390-429)	65+	0.01284 756	0.00240	Max1h	PM10	Pooled: Schwartz 1999 (Eight Counties), 1997 (Tucson, AZ) Schwartz and Morris, 1995 (Detroit) Schwartz and Morris, 1995 (Detroit)
Adm. Hosp. Cardio Congestiva (ICD 428)	65+	0.01700 117	0.00468	Max1h	PM10	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	65+	0.00467 349	0.00435	Max1h	PM10	
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	65+	0.05733 571	0.03288	24h	O3, PM10	Moolgavkar et al, 1997 (Minneapolis)
Adm. Hosp. Cardio Congestiva (ICD 428)	Total	0.03397 095	0.01633	24h	NO2	Burnett et al, 1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD-9 490-492, 496)	Total	0.02504 983	0.01648	24h	PM2.5-O3	Burnett et al, 1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	<65	0.05280 321	0.01850	24h	PM2.5	Sheppaerd, 1999 (Seattle)
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	Total	0.03323 789	0.00861	24h	PM2.5-O3	Burnett et al, 1999 (Toronto)
Adm. Hosp. Disritmia (ICD 427)	Total	0.05733 784	0.02294	24h	PM2.5-O3	Burnett et al, 1999 (Toronto)

4.1.5 Cálculo un estimador conjunto (*Pooling de betas*)

En la sección anterior se entrega un resumen con los estudios seleccionados, en algunos de estos casos se seleccionaron dos o más estudios para un mismo efecto, ya que, todos cumplían con los criterios de selección. En estos casos interesa calcular una estimación conjunta de los coeficientes entregados en los estudios.

Existen distintos métodos para obtener este coeficiente, basados en el peso relativo que se le asigna al coeficiente entregado por cada estudio. Los métodos más utilizados son: Promedio Simple, Fixed Effect Model y Random Effect Model. Cada uno de estos métodos considera una serie de supuestos que se explicaran a continuación.

El método de promedio simple es muy fácil de calcular, pero tiene la desventaja de que no toma en cuenta la incertidumbre de cada estimación. Entrega igual peso a estimadores con incertidumbre grande o pequeña.

El método de Fixed Effect Model asume que existe una sólo relación dosis-respuesta verdadera, y por lo tanto un único valor para el parámetro beta. Las diferencias observadas entre los betas de distintos estudios se deben solamente a errores de muestreo. Es decir, todos los betas reportados son una estimación del efecto de una misma variable. La incertidumbre de la estimación se ve reflejada en la varianza de cada estimador. Estimaciones con pequeñas varianzas tienen mayor peso, y estimaciones con varianzas grandes tienen menor peso [Deck, 1996]. La varianza toma en cuenta tanto la consistencia de los datos como la magnitud de la muestra.

Supongamos que se tienen n estudios, en que el estudio iésimo provee de una estimación β_i , y una varianza v_i . Sea S la suma de la inversa de las varianzas de cada estudio.

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i} \quad (4.1)$$

Entonces el peso asignado al iésimo estimador β_i esta dado por:

$$w_i = \frac{1/v_i}{S} \quad (4.2)$$

Luego, el efecto conjunto estimado de los n estudios disponibles esta dado por un promedio ponderado de los β_i , y la varianza es la inversa de la suma de las varianzas invertidas.

$$\beta_{fixed} = \sum w_i * \beta_i \quad (4.3)$$

$$v_{fixed} = \frac{1}{\sum 1/v_i} \quad (4.4)$$

Este método de cálculo trabaja bajo el supuesto que la variable estimada en todos los estudios es la misma, lo que no siempre es cierto. Por ejemplo, al cuantificar el efecto causado por el contaminante, la variabilidad del estimador se puede deber a la composición del contaminante la cual puede variar entre una ciudad y otra.

Mediante el siguiente test estadístico se puede conocer si es apropiado utilizar el modelo de fixed coefficients. Sea:

$$Q_w = \sum_i \frac{1}{v_i} (\beta_{fixed} - \beta_i)^2 \quad (4.5)$$

Bajo la hipótesis nula que el parámetro estimado es idéntico entre todos los estudios, Q_w distribuye chi-cuadrado con $n-1$ grados de libertad. Donde n es el número de estudios incluidos.

Si Q_w calculado es menor que el chi-cuadrado de tabla, entonces se acepta la hipótesis nula y se acepta el modelo de fixed coefficients, en caso contrario es posible utilizar el Random Effect Model.

Este método permite diferencias entre los parámetros estimados, ya que trabaja bajo el supuesto de que existe una función distribución de los coeficientes. Para la asignación de los pesos relativos asociados a cada estimación, se considera la varianza entre estudios η_i , además de las varianzas individuales de cada estimación, v_i [Deck, 1996].

$$\eta^2 = \frac{Q_w - (n-1)}{\sum 1/v_i - \frac{\sum 1/v_i^2}{\sum 1/v_i}} \quad (4.6)$$

Nueva varianza y peso relativo asociado:

$$v_i^* = v_i + \eta^2 \quad (4.7)$$

$$S^* = \sum \frac{1}{v_i^*} \quad (4.8)$$

$$w_i^* = \frac{1/v_i^*}{S^*} \quad (4.9)$$

Y el estimador conjunto se calcula en forma análoga al del método de "fixed coefficients".

$$\beta_{random} = \sum w_i^* \beta_i \quad (4.10)$$

$$v_{random} = \frac{1}{\sum 1/v_i^*} \quad (4.11)$$

4.1.6 Eliminación del Doble Conteo de Casos

A continuación se describen aquellos casos en que es necesario un modo particular de agregación de forma de evitar un doble conteo de casos.

- **Admisiones hospitalarias**

Las admisiones hospitalarias consideradas en este estudio, se pueden subdividir en dos categorías:

1. **Admisiones Hospitalarias por enfermedades respiratorias (ICD 460-519)**
2. **Admisiones Hospitalarias por enfermedades cardiovasculares (ICD 390-459)**

De acuerdo a los estudios epidemiológicos seleccionados, a cada contaminante le corresponde subconjunto de admisiones hospitalarias. La agregación en el caso de admisiones hospitalarias, se realizó según el siguiente método:

El número de casos netos correspondientes a este efecto se obtuvo para cada uno de los grupos de edad. Se estimaron las admisiones hospitalarias utilizando la función concentración-respuesta correspondiente para luego restar todas aquellas admisiones hospitalarias producto de enfermedades incluidas entre los ICD 460 al 519 ó entre los y ICD 390 al 459, según fuera el caso y que además aparecieran dentro de la lista de efectos agudos considerados en este modelo para el contaminante en estudio.

A continuación se muestra a modo de ejemplo la obtención del número neto de admisiones respiratorias para la población mayores de 65 años, en la evaluación del Ozono:

$$\underline{\text{Admisiones Hospitalarias Respiratorias (ICD 460 -519)}} = \text{Admisiones Hospitalarias Respiratorias (ICD 460 -519)} - \text{Admisiones Hospitalarias por neumonía (480-487)} - \text{Admisiones Hospitalarias por COPD (ICD 490-496)}$$

El valor neto para el resto de los casos de admisiones hospitalarias incluidas en la ecuación corresponde al el valor calculado por sus respectivas funciones concentración-respuesta.

4.2 Proposición de Tasas base

En el caso en que las tasas de incidencia o la probabilidad actual de sufrir un determinado efecto para cierto grupo de edad no se encuentran disponibles efecto (ej. Síntomas respiratorios o asma), se consideró utilizar aquellas probabilidades o tasas base indicadas en el estudio del cual se obtuvo el valor de coeficiente de la relación concentración-respuesta respectiva, obteniendo así, una estimación menos precisa del posible número de casos. Cabe señalar que se han considerado los datos más recientes disponibles, obtenidos de distintas fuentes. En particular de las estadísticas del MINSAL (MINISTERIO DE SALUD, Departamento de Estadísticas) correspondientes a los lugares estudiados.

Tabla 4.4 Tasa base de efectos considerados

Efecto	Tasa Base (Efectos/día/100000p)				Origen		Comentarios	Fuente
	Total	Niños	Adultos	>=65	Lugar	Año		
Mortalidad	1.23				Prov Santiago	1996	Tasa Muertes sin accidentes	INE 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	2.08	3.75	0.63	5.28	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 464-466,480-486,490-494,496)	1.2134	2.1301	0.2830	4.0696	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 464,466,480-487,494)	0.9111	1.6480	0.2018	2.8958	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	0.8312	1.7375	0.1249	1.9345	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-486,490-493)	1.0738	2.0092	0.2271	3.1611	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	0.2941	0.4322	0.0911	1.2292	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-491,494-496)	0.2522	0.3872	0.0637	1.0865	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Cardiovascular (ICD 390-429)	0.6008	0.0211	0.4666	4.9236	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Cardio Congestiva (ICD 428)	0.0867	0.0013	0.0397	0.8959	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.3268	0.0012	0.2599	2.5121	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-486)	0.8324	1.5018	0.1803	2.6985	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.2489	0.3837	0.0605	1.0839	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.0368	0.0447	0.0236	0.1033	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Disritmia (ICD 427)	0.1109	0.0076	0.0892	0.8077	Prov Santiago	1996	Egresos Hosp. Residentes	Ministerio de Salud Chile, 1996
Ataque de Asma	2700						4.07% pob asmática Chile	Krupnick .1998
Visitas Sala Emergencia Asma ^(a)	-	-	-	-	-	-	-	-
Consultas Infantiles IRAbaja		114.4			Prov Santiago	1998	<15 años, Prov. Santiago	Programa IRA (Centros Centinela)
Días Dificultad Respiratoria		5600						EPA 2000
MRADs			2137.0					EPA 2000
Síntomas Respiratorios ^(a)	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a) Las funciones concentración respuesta utilizadas son Lineales por lo que no es necesario conocer las tasas base de estos efectos.

El origen especifica el lugar geográfico y el año de donde fueron obtenidas las tasas base, Tasas bases de otros lugares ó comunas considerados en el estudio ver ANEXO.

5. Casos de Estudio: Cálculo de Exposición

Para cada uno de los contaminantes atmosféricos estudiados se presentan a continuación el cálculo de la proyección de las concentraciones, para lo cual es necesario examinar las normas propuestas. El análisis considera la evaluación del beneficio ó daño producto de la diferencia entre la aplicación de la normativa concentración atmosférica de los contaminantes propuesta y la normativa actual, a estas alternativas las denominaremos “Norma Propuesta” y “Caso Base” respectivamente. A continuación se explica en detalle la proyección de concentraciones para cada uno de los contaminantes estudiados en sus respectivas zona de influencia.

5.1 Ozono O₃

La actual normativa de calidad primaria (Res N°1215) establece una concentración máxima horaria de 80 (ppb). Por otro lado la norma propuesta establece como periodo de medición intervalos de 8hrs, con un valor máximo de concentración de 120 (ppb). La idea de este análisis es calcular los beneficios o daños producto de la diferencia entre el escenario donde se cumple con la norma propuesta y el escenario con la actual norma de valor máximo 1hr. Para realizar este análisis es necesario proyectar las concentraciones esperadas en ambos escenarios en intervalos de exposición equivalentes. Por lo tanto, para el cálculo del número total de efectos en un año se proyectó el promedio anual de las máximas diarias en ambos escenarios.

5.1.1 Provincia de Santiago

Para el cálculo de los efectos del ozono, es necesario conocer la población residente en las zonas geográficas de influencia de los 8 monitores que actualmente entregan mediciones de la concentración de ozono en la Región Metropolitana. Debido a la falta de información no fue posible calcular el área de influencia real de cada monitor. En particular, en este análisis se considera que la población que se encuentra expuesta a las concentraciones medidas en cada uno de los 8 monitores es 12.5 % de la población total en estudio; es decir, se asignó una proporción igual de la población a cada uno de los monitores.

La siguiente tabla muestra, la concentración máxima anual de 1hr, los promedios anuales de las concentraciones máximas de 1hr y de las concentraciones máximas de 8hr (para cada estación de monitoreo en el año 1999).

Tabla 5.1: Concentraciones de Ozono por estación de monitoreo

Concentración Ozono (ppb) 1999	Estaciones de Monitoreo MACAM II								Promedio
	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	
Max anual de Max diarios 1hr	86	105	118	179	108	87	111	101	112
Max anual de Max diarios 8hr	60	75	82	108	79	67	71	70	
Promedio Anual Max diarios 1hr	29	45	57	68	50	43	46	44	48

El cálculo de las concentraciones para el caso de la norma propuesta, se realizó según los siguientes pasos:

- Se convirtieron las concentraciones de las normas de 8hrs en su equivalente de Max-1hr, usando las razones promedio, entre el máximo de 1hr y el promedio de 8 horas, para cada una de las estaciones.

Los resultados obtenidos, es decir, el equivalente de 1hr para cada norma propuesta de 8hrs y las razones utilizadas se muestran a continuación.

Tabla 5.2 Razón Max1hr/8hrs por Estación de Monitoreo

Estación	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8
Razón Max anual de Max diarios 1hr / Max anual de Max diarios 8hr	1.43	1.40	1.44	1.66	1.37	1.30	1.56	1.44

Tabla 5.3 Concentraciones Equivalentes Max 1h (ppb)

Estación	Valor Máximo Anual de Max diaria 1h que no se debe sobrepasar para cumplir con la norma respectiva							
	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8
Norma Propuesta (ppb) Max diario 8hr 60ppb (Conc. Equivalente 1h)	86	84	86	99	82	78	94	87
Norma Actual (ppb) Max diario 1hr	80	80	80	80	80	80	80	80

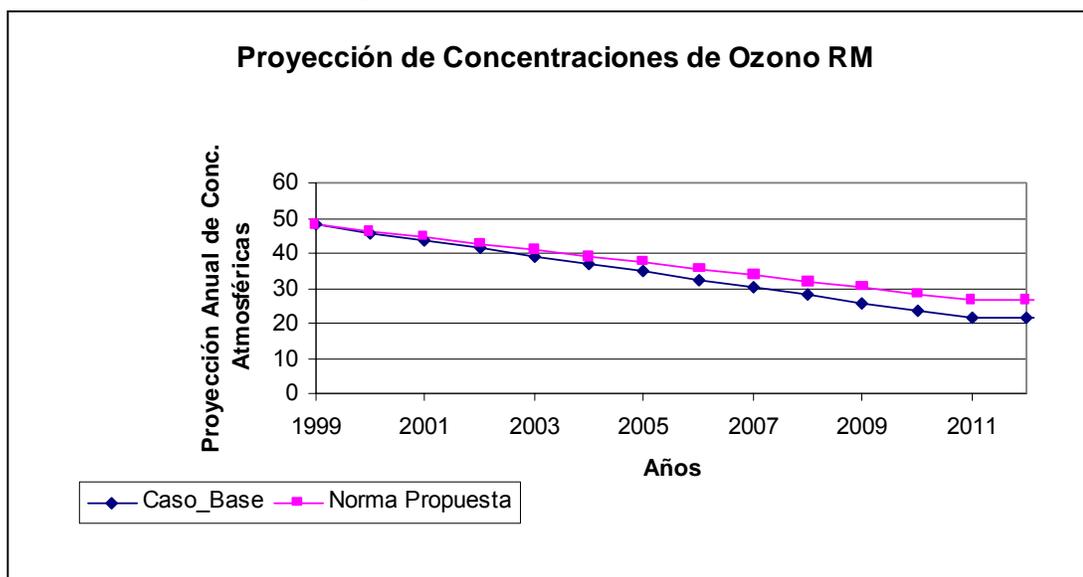
- Se calculó la reducción de concentraciones requerida para cumplir la norma propuesta en cada estación, utilizando la razón entre la máxima horaria en 1999 y la máxima horaria requerida por la norma propuesta (o por su equivalente en max 1hr para las normas de 8hrs)
- De forma de cumplir con las concentraciones en todas las estaciones de monitoreo, se eligió la mayor reducción de concentraciones requerida, es decir, la reducción de la Estación 4 (Estación de Monitoreo: Las Condes). Reducción que se aplicó al resto de las estaciones de monitoreo obteniendo así las concentraciones de 8hr para cada una de las estaciones.

En la siguiente tabla se observa la máxima reducción requerida para alcanzar las concentraciones meta, las concentraciones máximas anuales 1hr y el promedio anual de los máximos diarios de 1hr.

Tabla 1.5.4: Reducción requerida para cada una de las normas propuestas

Nivel Norma	Reducción Max Requerida	Conc. Máxima anual de Max diaria 1hr (promedio 8 Est)		Concentración: Promedio anual de 1hr Max	
		Actual	Meta	Actual	Meta
Norma Propuesta (max diario 8hr)	44%	112	62.2	48	26.5
Norma Actual (max diario 1hr)	55%	112	50	48	21.3

- Finalmente, se proyectó (modelo lineal) el valor actual de 48 ppb de O₃ (1999) hasta el valor meta respectivo de cada norma estudiada; se considero como año meta de cumplimiento de la norma el año 2011 (se escogió este año debido a ser el año de cumplimiento propuesto en el PPDA de la Región Metropolitana). El análisis comprende el periodo desde el año 2000 al 2025, a partir del año 2011 las concentraciones se asumen constantes. La siguiente figura muestra la proyección de concentraciones de ozono.



5.1.2 Hijuelas

El cálculo de beneficios en salud en el sector de Hijuelas, se elaboró utilizando igual método al descrito en la sección anterior. Cabe señalar, que el inventario de concentraciones atmosféricas disponibles en el sector de Hijuelas corresponde al periodo 1 de Junio de 1999 a 31 de Mayo de 2000. Por lo cual, todos los cálculos se basan en el periodo antes señalado.

La siguiente tabla muestra, la concentración máxima anual de 1hr, los promedios anuales de las concentraciones máximas de 1hr y de las concentraciones máximas de 8hr registrados por el monitor de Hijuelas.

Tabla 5.5: Concentraciones de Ozono por estación de monitoreo

Estación de Monitoreo HIJUELAS	Concentración Ozono (ppb) 1999
Max anual de Max diarios 1hr	84
Max anual de Max diarios 8hr	78
Promedio Anual Max diarios 1hr	31

Proyección de concentraciones:

- Se convirtieron las concentraciones de las normas de 8hrs en su equivalente de Max-1hr, usando las razones promedio, entre el máximo de 1hr y el máximo de 8 horas.

Tabla 5.6 Razón Máximos 1hr y Máximos 8 horas en el análisis de la norma de O3

Estación	Razón
Razón Max anual de Max diarios 1hr / Max anual de Max diarios 8hr	1.08

Tabla 5.7 : Concentraciones Equivalentes Max 1h (ppb)

Estación	Conc. Equivalente Max 1h (ppb)
Norma Propuesta (ppb) Max diario 8hr 60ppb	65
Norma Actual (ppb) Max diario 1hr	80

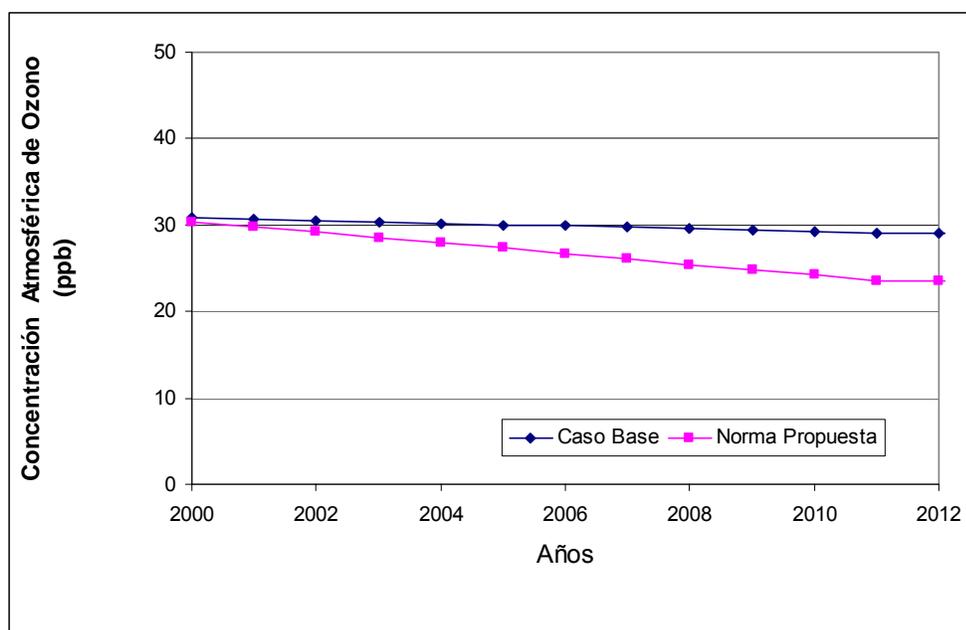
- Se calculó la reducción requerida de las concentraciones para cumplir la norma propuesta.

En la siguiente tabla se observa la máxima reducción requerida para alcanzar las concentraciones meta, las concentraciones máximas anuales 1hr y el promedio anual de los máximos diarios de 1hr.

Tabla 5.8 : Reducción requerida para cada una de las normas propuestas

Nivel Norma	Reducción Max Requerida	Conc. Máxima anual de Max diaria 1hr		Concentración: Promedio anual de 1hr Max	
		Actual	Meta	Actual	Meta
Norma Propuesta (max diario 8hr)	23%	84	65	31	245
Norma Actual (max diario 1hr)	5%	84	80	31	29.5

- Finalmente, se proyectó (modelo lineal) el valor promedio anual de O₃ hasta el valor meta respectivo de cada norma estudiada; se consideró como año meta de cumplimiento de la norma el año 2011. El análisis comprende el periodo desde el año 2000 al 2025, a partir del año 2011 las concentraciones se suponen constantes. La siguiente figura muestra la proyección de concentraciones de ozono.

Figura 5.2 Proyección de Concentraciones de Ozono - Hijuelas

5.2 Dióxido de Azufre (SO₂)

5.2.1 Paipote

La zona afectada se encuentra incluida en la III Región de Atacama y a nivel local comprende las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla ⁶. El área afectada, definida por las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla poseen una superficie de 16.748,8 km.² y 11.326,3 km.², respectivamente.⁷

Existe una red de monitoreo en la zona de interés constituida por 6 monitores. La evolución de las concentraciones a lo largo del tiempo para cada 4 de estos 6 monitores es la siguiente:

Tabla 5.9 Promedio anual de SO₂ según localidad (µg/Nm³)

Año	E. Paipote	Copiapó	T. Amarilla	S. Fernando
1994	234.52	62.26	148.27	95.83
1995	132.66	56.43	128.28	56.38
1996	104.78	43.18	84.43	38.45
1997	67.37	18.63	44.26	23.37
1998	56.83	19.00	36.03	17.35
1999	44.98	9.01	24.78	15.33

Fuente: COREMA, Región de Atacama

La norma primaria anual para el SO₂ (80 µg/Nm³) fue superada en los años 92-93 por diversas estaciones de monitoreo, e incluso se mantuvo en niveles altos hasta el año 1995 en algunas estaciones. A partir de finales de 1996 todas las estaciones de monitoreo se encuentran bajo el nivel de la norma. Como es de esperar, la estación más cercana a la fundición Hernán Videla Lira (Estación Paipote) es la que presenta los valores de concentración más altos.

En cuanto a la norma diaria para el SO₂ (365 µg/Nm³) esta fue excedida en varias oportunidades en los años 92 y 93 en todas las estaciones de monitoreo. El número de veces que se ha excedido la norma ha ido en disminución, lo que es posible apreciar en la Tabla 5.10.

⁶ Plan de Descontaminación Fundición Hernán Videla Lira, Tomo II, 1993.

⁷ Fuente: Atlas Geográfico de la República de Chile, Instituto Geográfico Militar, 1999

Tabla 5.10 Evolución de la superación de la norma primaria diaria de SO₂ (365 µg/m³)

Año	E. Paipote	Copiapó	T. Amarilla	San Fernando
1993	98	4	23	30
1994	81	5	24	8
1995	17	2	17	0
1996	11	0	2	0
1997	2	0	0	0
1998	2	0	0	0
1999	2	0	0	0

Fuente: COREMA , Región de Atacama

Se puede observar que en la estación de Copiapó la norma primaria diaria no se sobrepasa desde 1995, en San Fernando no existen superaciones desde 1994, en Tierra Amarilla la última vez que se sobrepasó la norma fue en 1996, mientras que en la estación de monitoreo de Paipote, aún se observan días con superación de la norma (pero el número de excedencias se encuentra dentro del percentil 98 que actualmente contempla la normativa).

En la siguiente tabla se aprecia el número de excedencias que se hubieran registrado en el año 1999 para el caso hipotético de una norma horaria de 400 ppb y norma diaria 95 ppb (1050 ug/m³ y 250 ug/m³, respectivamente) en la estación de monitoreo Paipote.

Tabla 5.11 Episodios de la superación de la Norma SO₂ (1999)

Año	Episodios Sobre Norma	
	Max. 1hr (400ppb)	24hr (95ppb)
1999	24	4

Fuente: COREMA , Región de Atacama

Proyección de concentraciones:

La metodología utilizada consiste en cuantificar los beneficios en salud producto del cumplimiento de la norma Max 1hr. La cuantificación de beneficios consideró que las fuentes emisoras disminuirán sus de emisiones por el período necesario de modo de disminuir al mínimo permitido los días con superación de la norma.

- Se calculó la máxima reducción de concentración necesaria entre las estaciones monitoras para lograr cumplir con la normativa de concentración máxima 1 hora, que en este caso corresponde a la reducción en estación de monitoreo de Paipote. Para logra la disminución de la concentración en Paipote es necesario una reducción de emisiones por parte de las fuentes, lo que se va ver reflejado en una disminución de las concentraciones medidas de SO₂ no solamente en esta estación sino que en el resto de las estaciones de monitoreo ubicados en la zona de influencia (Copiapó y Tierra Amarilla⁸).

⁸ Plan de Descontaminación Fundación Hernán Videla Lira, Tomo II, 1993

- Se consideró para cada uno de los casos de estudio (sensibilidad de la norma), el número promedio de días al año de superación de la norma propuesta con las condiciones actuales de emisión de contaminante.

Tabla 5.12 Número de Episodios de la superación de la Norma Propuesta SO₂ (1999)

Norma	Episodios Sobre Norma 1999 Max. 1hr
Caso1: Norma 400ppb	24
Caso2: Norma 305 ppb	36
Caso3: Norma 495 ppb	12

- Los daños evitados se calcularon considerando el delta de concentración diaria, entre la concentración promedio de los días con superación de norma de máximas 1hora y la concentración diaria considerando la norma 1hr máxima propuesta. Por lo que se esta trabajando bajo el supuesto de la mínima reducción de concentración diaria necesaria para cumplir con la norma en la estación de Paipote.
- Una vez calculada la reducción diaria de concentración, se multiplica por el número de días de excedencia en el año (Ej. Caso 1: 20 días (15 y 25 días)) estos se consideraron constantes a lo largo de periodo de análisis (2003-2025). Se realizó un análisis de sensibilidad en el número de días de excedencia.

Una vez obtenida la proyección de las concentraciones se procede al cálculo de beneficios.

5.2.2 Ventanas

La proyección de concentraciones en la zona de influencia del sector de Ventanas, se elaboró utilizando igual método al descrito en la sección anterior.

A continuación se presenta una tabla con la evolución de las concentraciones en las distintas estaciones de monitoreo. En este caso la estación monitorea que registra las concentraciones más altas corresponde ala estación de Los Maitenes.

Tabla 5.13 Concentración media anual de SO₂ (µg/m³)

Año	Puchuncaví	Greda	V. Alegre	E. Sur	Maitenes
1992	86	51	59	S/I	S/I
1993	110	40	97	S/I	S/I
1994	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
1995	115	66	90	140	180
1996	137	122	104	187	238
1997	98	43	74	130	140
1998	52	20	41	76	89
1999	35	24	20	41	52

S/I: sin información

Tabla 5.14 Número de Episodios de la superación de la Norma Propuesta SO₂ (1999)

Norma	Episodios Sobre Norma 1999 Max. 1hr
Caso1: Norma 400 ppb	18
Caso2: Norma 305 ppb	42
Caso3: Norma 495 ppb	8

5.2.3 Alto Norte

No existen datos oficiales sobre población residente en el sector de La Negra. No obstante información extraoficial de CONAMA II región señala una población residente permanente de 34 personas.

5.2.4 Talcahuano

A continuación se detalla la proyección de concentraciones en la ciudad de Talcahuano. Cabe señalar que en este el inventario de concentraciones corresponde a los registros de concentraciones el año 1998, 1999 y parte del 2000 en dos estaciones del sector (Estación Bomberos y Est. Cuatro Esquinas).

En la siguiente tabla se aprecia que el percentil 99 y que el promedio anual de concentraciones en el último año 1999, están por debajo de la norma diaria 24hr (139ppb) y de la actual norma anual de SO₂ (30ppb), por lo tanto en ninguno de los dos casos se excede la actual normativa.

Tabla 5.15 Concentraciones Anuales Media y Máximas 24hrs SO₂ (ppb)

Año	Estación de Monitoreo	Media 24hrs	Max 24hrs	Perc99	Perc99/Media
1998 ^a	Est. C. Esquinas	24	142	114	4.8
1999	Est. Bomberos	27	196	116	4.3
	Est. C. Esquinas	22	120	101	4.6
	Promedio (2 Estaciones)	24	158	109	4.4

^a Feb 1998-dic1998

En el caso hipotético de las normas propuesta vemos que la norma diaria (promedio 24horas) es excedida en varias ocasiones en todos los casos de estudio.

Tabla 5.16 Número de Episodios sobre Norma Propuesta SO₂ (1999)

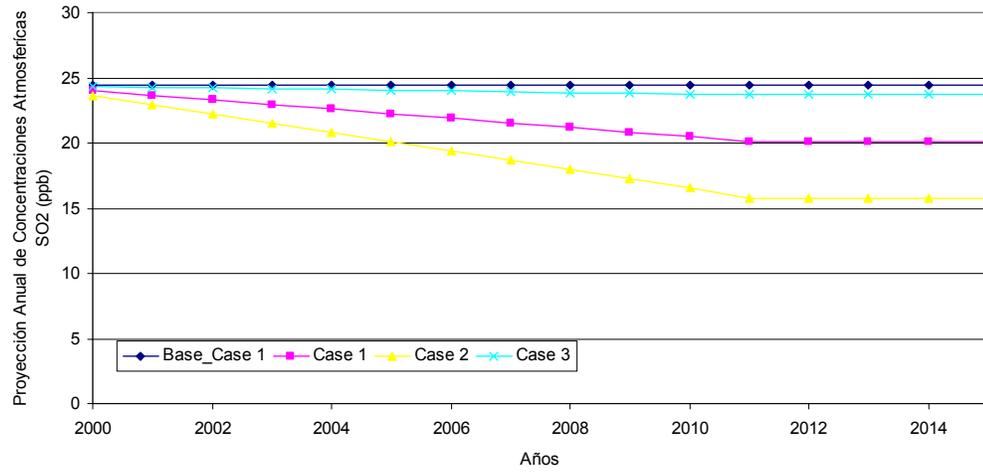
Nivel	Excedencias 1999
Norma Propuesta (95ppb)	20
Norma Propuesta (76ppb)	43
Norma Propuesta (114ppb)	7
Norma Actual (139ppb)	2

La Tabla 5.15 muestra la relación entre las concentraciones promedio 24hrs y las concentraciones máximas diarias y el percentil 99. Se observa que si calculamos la razón entre el percentil 99 y la media anual, el cociente se mantiene relativamente constante, lo que nos permite suponer que la concentración media anual se reducirá en la misma proporción que el percentil 99.

La siguiente tabla muestra los casos de análisis y el caso base. En esta oportunidad el caso base se asume constante en el periodo de análisis. La evolución de concentraciones en los últimos años (1998 y 1999, parte 2000) indican una reducción de medias anuales y episodios de concentraciones, por lo tanto, independiente de que las actuales concentraciones son menores a la norma vigente, nada indica un posible aumento o reducción de éstas.

Tabla 5.17 Reducción requerida para cada una de las normas propuestas

	Reducción Máxima Requerida	Conc Max anual de 24hr (prom 2 Est)		Conc Promedio anual de 24hr (prom 2 Est)	
		1998	1999	1998	1999
Norma Propuesta (95ppb)	18%	109	89.2	24	20
Norma Propuesta (76ppb)	34%	109	71.4	24	16
Norma Propuesta (114ppb)	1%	109	107	24	24
Norma Actual (139ppb)	0%	109	109	24	24

Figura 5.3 Proyección de Concentraciones de SO₂ -Talcahuano

5.3 Monóxido de Carbono CO

No se realizó ningún análisis en el caso del CO, debido razones indicadas en la sección de Resultados 6.3.

5.4 Dióxido de Nitrógeno NO₂

No se realizó ningún análisis en el caso del NO₂, debido razones indicadas en la sección de Resultados 0

6. Resultados: Beneficios Sociales en Salud

A continuación se presentan los resultados más relevantes para el análisis de los beneficios en salud.

Debido a la suposición de ausencia de umbral, ningún efecto se hace cero.

6.1 Ozono O₃

6.1.1 Provincia de Santiago

A continuación, se presentan las tablas más representativas del análisis.

Tabla 6.1 Número de efectos por delta de concentración- Prov. Santiago "Norma Propuesta - Caso base

Efecto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Muertes Prematuras	1	2	4	5	6	8	9	10	12	13	15	16	17	17
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	28	55	82	109	136	162	187	212	237	261	285	308	306	304
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	4	9	14	18	23	28	33	39	44	50	55	61	62	63
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	3	7	10	14	18	23	27	32	36	42	47	52	54	56
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	15	31	46	63	80	97	115	134	153	172	192	213	220	228
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	8	17	26	35	44	54	63	73	83	94	105	116	117	119
Ataques de Asma	1775	3583	5425	7300	9209	11153	13132	15146	17196	19283	21408	23571	23870	24173
Visitas Sala Emergencia Asma	21	43	66	89	112	136	161	186	212	239	266	294	298	302
Consultas Infantiles IRAbaja	300	601	905	1211	1519	1829	2140	2454	2770	3088	3408	3731	3754	3777
MRADs	20413	41236	62472	84128	106209	128721	151670	175064	198911	223217	247994	273253	277130	281061
Síntomas Respiratorios	61061	123890	188523	254995	323346	393614	465842	540072	616350	694727	775256	857999	870172	882517

Efecto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	17	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	20
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	302	299	296	293	290	286	282	278	273	268	263	257
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	63	64	65	66	67	67	68	69	70	71	72	73
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	58	60	62	64	66	69	71	74	76	79	82	84
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	236	244	252	261	270	279	289	299	309	320	331	343
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	120	122	123	125	126	128	130	131	133	135	136	138
Ataques de Asma	24480	24790	25105	25424	25746	26073	26404	26739	27079	27423	27771	28123
Visitas Sala Emergencia Asma	306	310	314	318	322	326	330	334	338	343	347	351
Consultas Infantiles IRAbaja	3800	3824	3847	3871	3895	3919	3943	3968	3992	4017	4042	4067
MRADs	285049	289093	293194	297353	301572	305850	310189	314590	319053	323579	328170	332825
Síntomas Respiratorios	895037	907734	920612	933672	946918	960352	973976	987793	1001810	1016020	1030430	1045050

6.1.1.1 Daños sociales anuales

Tabla 1.6.2: Daños Sociales Anuales Netos O3 (Norma Propuesta- Caso Base)

Año	Daños Anuales en Salud (M US\$)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
2000	0.65	1.13	2.06
2001	1.32	2.28	4.17
2002	2	3.46	6.33
2003	2.7	4.67	8.55
2004	3.41	5.9	10.81
2005	4.15	7.17	13.13
2006	4.9	8.46	15.5
2007	5.66	9.78	17.93
2008	6.45	11.13	20.42
2009	7.25	12.5	22.96
2010	8.08	13.9	25.56
2011	8.92	15.33	28.22
2012	9.06	15.55	28.6
2013	9.21	15.77	28.99
2014	9.36	15.99	29.38
2015	9.51	16.22	29.78
2016	9.67	16.45	30.19
2017	9.82	16.69	30.6
2018	9.99	16.93	31.01
2019	10.15	17.18	31.43
2020	10.32	17.42	31.86
2021	10.49	17.67	32.3
2022	10.67	17.92	32.74
2023	10.84	18.17	33.19
2024	11.03	18.43	33.64
2025	11.21	18.69	34.1

6.1.1.2 Valor Presente de los Beneficios Sociales por Caso

El valor presente de los beneficios anuales entre 2000 y 2025 se calculó usando una tasa de descuento del 12%.

Los beneficios sociales netos se calcularon como la diferencia entre los daños sociales del caso base y la norma propuesta.

Tabla 6.3: Valor presente de los beneficios sociales netos entre 2000-2025

	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
Norma 60ppb 8h	-\$ 43,966,384	-\$ 75,465,430	-\$ 138,243,370

Tabla 6.4: Porcentaje de los daños correspondientes a cada efecto

Efectos	Porcentaje de Beneficios por Tipo de Efecto (Año 2000)
Muertes Prematuras	40.2%
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	5.0%
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	0.6%
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	1.2%
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	5.5%
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.7%
Ataques de Asma	1.3%
Visitas Sala Emergencia Asma	0.1%
Consultas Infantiles IRAbaja	4.9%
MRADs	16.8%
Síntomas Respiratorios	23.7%

6.1.2 Hijuelas

El cálculo de los beneficios en el sector de Hjuelas se realizó de manera similar al realizado en la Provincia de Santiago. A continuación, se presentan las tablas más representativas del análisis.

Tabla 6.5 Número de efectos por delta de concentración – Hijuelas “Norma Propuesta - Caso base

Efecto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	...
Muertes Prematuras	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.066	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.13	0.26	0.40	0.54	0.68	0.83	0.98	1.14	1.29	1.46	1.62	1.79	1.82	1.85	1.87	1.899	
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.23	0.23	0.24	0.241	
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.12	0.13	0.128	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35	0.39	0.40	0.41	0.42	0.431	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.03	0.06	0.09	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.35	0.39	0.43	0.44	0.44	0.45	0.457	
Ataques de Asma	5.35	10.88	16.58	22.46	28.53	34.78	41.23	47.88	54.73	61.78	69.05	76.54	77.82	79.12	80.43	81.775	
Visitas Sala Emergencia Asma	0.08	0.15	0.24	0.32	0.40	0.49	0.59	0.68	0.78	0.88	0.98	1.09	1.11	1.13	1.15	1.164	
Consultas Infantiles IRAbaja	1.00	2.02	3.05	4.11	5.18	6.28	7.39	8.52	9.67	10.85	12.04	13.25	13.38	13.51	13.64	13.770	
MRADs	58	118	181	246	314	384	457	533	611	693	777	865	883	901	920	939.388	
Síntomas Respiratorios	211	431	659	898	1145	1403	1671	1950	2239	2540	2853	3177	3243	3311	3380	3450	

6.1.2.1 Beneficios sociales anuales

Tabla 1.6.6: Beneficios Sociales Anuales Netos en Salud por Casos Evitados- O3 (Norma Propuesta- Caso Base)

Año	Beneficios Anuales en Salud (US\$)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
2000	\$ 398	\$ 2,002	\$ 3,483
2001	\$ 808	\$ 4,078	\$ 7,098
2002	\$ 1,230	\$ 6,232	\$ 10,849
2003	\$ 1,665	\$ 8,465	\$ 14,740
2004	\$ 2,112	\$ 10,779	\$ 18,775
2005	\$ 2,573	\$ 13,176	\$ 22,959
2006	\$ 3,047	\$ 15,660	\$ 27,295
2007	\$ 3,535	\$ 18,231	\$ 31,789
2008	\$ 4,036	\$ 20,894	\$ 36,445
2009	\$ 4,552	\$ 23,650	\$ 41,273
2010	\$ 5,082	\$ 26,503	\$ 46,273
2011	\$ 5,627	\$ 29,454	\$ 51,451
2012	\$ 5,720	\$ 30,027	\$ 52,471
2013	\$ 5,814	\$ 30,611	\$ 53,512
2014	\$ 5,910	\$ 31,207	\$ 54,574
2015	\$ 6,007	\$ 31,815	\$ 55,661
2016	\$ 6,107	\$ 32,435	\$ 56,769
2017	\$ 6,207	\$ 33,067	\$ 57,901
2018	\$ 6,310	\$ 33,712	\$ 59,055
2019	\$ 6,414	\$ 34,370	\$ 60,233
2020	\$ 6,520	\$ 35,042	\$ 61,436
2021	\$ 6,628	\$ 35,726	\$ 62,663
2022	\$ 6,737	\$ 36,425	\$ 63,915
2023	\$ 6,849	\$ 37,138	\$ 65,192
2024	\$ 6,962	\$ 37,865	\$ 66,496
2025	\$ 7,077	\$ 38,606	\$ 67,827

6.1.2.2 Valor Presente de los Beneficios Sociales por Caso

El valor presente de los beneficios anuales entre 2000 y 2025 se calculó usando una tasa de descuento del 12%.

Los beneficios sociales netos se calcularon como la diferencia entre los daños sociales del caso base y la norma propuesta.

Tabla 6.7: Valor presente de los beneficios sociales netos entre 2000-2025

	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
Norma 60ppb 8h	\$ 146,338	\$ 253,769	\$ 434,969

6.1.3 Análisis de Situaciones de Emergencia

6.1.3.1 Efectos según Nivel de Situación de Emergencia

Tabla 6.8: Efectos para cada nivel de emergencia

Efectos	Efectos observados para cada nivel de emergencia por sobre el nivel norma de 80 ppb Max 1hr		
	Nivel1 (200ppb)-	Nivel2 (400ppb)	Nivel3 (500ppb)
Muertes Prematuras	2	5	6
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	21	57	74
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	3	9	12
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	3	7	9
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	12	31	41
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	6	17	22
Ataques de Asma	1356	3616	4747
Visitas Sala Emergencia Asma	16	43	57
Consultas Infantiles IRAbaja	356	951	1248
MRADs	15606	41615	54619
Síntomas Respiratorios	46471	123922	162648

6.1.3.2 Daños Social Diario por Nivel de Situaciones de Emergencia

El número de efectos diarios sobre la norma (Tabla 6.8) se valoró de acuerdo a los valores unitarios presentados anteriormente, obteniéndose el daño social por un aumento diario desde el nivel norma al nivel de emergencia correspondiente.

Tabla 6.9: Daño social según nivel de emergencia (US\$ 2000)

Caso	Concentración Meta	Perc5%	Mediana	Perc95%
Nivel 1	200	\$311,000	\$1,109,452	\$2,654,851
Nivel 2	400	\$829,334	\$2,958,538	\$7,079,602
Nivel 3	500	\$1,088,500	\$3,883,081	\$9,291,977

6.2 Dióxido de Azufre SO₂

6.2.1 Paipote

A continuación, se presentan los resultados más relevantes en el análisis de las normas de SO₂ en la zona de Copiapó y Tierra Amarilla.

Tabla 6.10 Número de Efectos Netos Copiapó por día - Delta de Conc. “Norma Propuesta (400ppb) - Caso base”

Efecto	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Muertes Prematuras	0.02779	0.02851	0.02925	0.03000	0.03078	0.03157	0.03239	0.03322	0.03408	0.03496	0.03586	0.03679
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.01369	0.01413	0.01458	0.01504	0.01552	0.01601	0.01652	0.01705	0.01759	0.01815	0.01873	0.01933
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00725	0.00744	0.00763	0.00783	0.00803	0.00824	0.00845	0.00867	0.00889	0.00912	0.00936	0.00960
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00499	0.00520	0.00542	0.00565	0.00590	0.00615	0.00641	0.00669	0.00698	0.00727	0.00759	0.00791
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00174	0.00179	0.00185	0.00190	0.00196	0.00202	0.00208	0.00214	0.00220	0.00227	0.00234	0.00241
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.00046	0.00047	0.00047	0.00048	0.00049	0.00050	0.00051	0.00052	0.00053	0.00054	0.00055	0.00056

Efecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	0.03774	0.03871	0.03971	0.04074	0.04179	0.04287	0.04397	0.04511	0.04627	0.04747	0.04869
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.01995	0.02059	0.02125	0.02193	0.02263	0.02336	0.02411	0.02489	0.02569	0.02652	0.02738
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00985	0.01010	0.01036	0.01063	0.01090	0.01119	0.01147	0.01177	0.01207	0.01239	0.01271
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00825	0.00860	0.00897	0.00936	0.00976	0.01018	0.01061	0.01107	0.01154	0.01204	0.01255
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00248	0.00256	0.00264	0.00272	0.00280	0.00289	0.00298	0.00307	0.00317	0.00327	0.00337
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.00057	0.00058	0.00059	0.00060	0.00061	0.00063	0.00064	0.00065	0.00066	0.00067	0.00069

Tabla 6.11 Número de Efectos Netos Tierra Amarilla por día -Delta de Conc. “Norma Propuesta (400ppb)- Caso base”

Efecto	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Muertes Prematuras	0.00190	0.00197	0.00204	0.00211	0.00219	0.00227	0.00235	0.00244	0.00253	0.00262	0.00271	0.00281
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.00158	0.00164	0.00170	0.00177	0.00184	0.00191	0.00198	0.00206	0.00214	0.00222	0.00231	0.00240
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00102	0.00105	0.00109	0.00113	0.00117	0.00121	0.00126	0.00130	0.00135	0.00140	0.00145	0.00150
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00240	0.00250	0.00260	0.00271	0.00282	0.00294	0.00306	0.00319	0.00332	0.00346	0.00361	0.00376
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00071	0.00074	0.00076	0.00079	0.00082	0.00085	0.00088	0.00091	0.00094	0.00097	0.00101	0.00104

Efecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	0.00291	0.00302	0.00313	0.00324	0.00336	0.00348	0.00361	0.00374	0.00388	0.00402	0.00416
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.00249	0.00259	0.00269	0.00279	0.00290	0.00301	0.00313	0.00325	0.00337	0.00351	0.00364
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00156	0.00162	0.00167	0.00174	0.00180	0.00186	0.00193	0.00200	0.00207	0.00215	0.00223
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00391	0.00408	0.00425	0.00443	0.00461	0.00480	0.00500	0.00521	0.00543	0.00566	0.00589
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00108	0.00112	0.00116	0.00120	0.00124	0.00128	0.00133	0.00137	0.00142	0.00147	0.00152

6.2.1.1 Valor Presente de Beneficios Sociales por Caso

El valor presente de los beneficios anuales entre 2003 y 2025 se calculó usando una tasa de descuento del 12%.

Los beneficios sociales netos se calcularon como la diferencia entre los daños sociales del caso base y los casos norma, entre los años 2003 al 2025.

Caso1:Norma 400ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
15	\$ 404,430	\$ 1,365,711	\$ 3,551,091
20	\$ 539,240	\$ 1,820,949	\$ 4,734,788
25	\$ 674,050	\$ 2,276,186	\$ 5,918,484

Caso2 :Norma 305ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
27	\$ 713,090	\$ 2,407,918	\$ 6,260,888
32	\$ 845,143	\$ 2,853,828	\$ 7,420,312
37	\$ 977,196	\$ 3,299,739	\$ 8,579,736

Caso3 :Norma 495ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
7	\$ 204,487	\$ 690,647	\$ 1,795,946
12	\$ 350,550	\$ 1,183,966	\$ 3,078,764
17	\$ 496,613	\$ 1,677,286	\$ 4,361,583

Finalmente,

**Tabla 6.12: Valor presente de los beneficios sociales netos entre 2003-2025
(Copiapó y Tierra Amarilla)**

	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Casos	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
Caso1 :Norma 400ppb	\$ 539,240	\$ 1,820,949	\$ 4,734,788
Caso2 :Norma 305ppb	\$ 845,143	\$ 2,853,828	\$ 7,420,312
Caso3 :Norma 495ppb	\$ 350,550	\$ 1,183,966	\$ 3,078,764

6.2.2 Ventanas

Tabla 6.13 Número de efectos por delta de concentración – Puchuncaví “Norma Propuesta - Caso base

Efecto	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Muertes Prematuras	0.00198	0.00203	0.00207	0.00212	0.00217	0.00222	0.00228	0.00233	0.00239	0.00244	0.00250	0.00256
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.00106	0.00109	0.00112	0.00115	0.00119	0.00122	0.00125	0.00129	0.00132	0.00136	0.00140	0.00144
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00035	0.00036	0.00037	0.00038	0.00038	0.00039	0.00040	0.00041	0.00042	0.00043	0.00044	0.00045
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00085	0.00089	0.00093	0.00098	0.00102	0.00107	0.00112	0.00117	0.00123	0.00129	0.00135	0.00141
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00055	0.00057	0.00058	0.00060	0.00062	0.00063	0.00065	0.00067	0.00069	0.00071	0.00073	0.00075
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.00011	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00013	0.00013	0.00013	0.00013	0.00013	0.00014	0.00014

Efecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	0.00262	0.00268	0.00274	0.00281	0.00288	0.00294	0.00301	0.00308	0.00316	0.00323	0.00331
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.00148	0.00152	0.00157	0.00161	0.00166	0.00171	0.00176	0.00181	0.00186	0.00192	0.00197
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.00046	0.00047	0.00049	0.00050	0.00051	0.00052	0.00053	0.00055	0.00056	0.00057	0.00059
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.00148	0.00155	0.00162	0.00170	0.00178	0.00187	0.00195	0.00205	0.00214	0.00225	0.00235
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.00077	0.00079	0.00081	0.00084	0.00086	0.00089	0.00091	0.00094	0.00097	0.00100	0.00103
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.00014	0.00014	0.00015	0.00015	0.00015	0.00016	0.00016	0.00016	0.00016	0.00017	0.00017

6.2.2.1 Valor Presente de los Beneficios Sociales por Caso

El valor presente de los beneficios anuales entre 2003 y 2025 se calculó usando una tasa de descuento del 12%.

Los beneficios sociales netos se calcularon como la diferencia entre los daños sociales del caso base y los casos norma, entre los años 2003 al 2025 para la comuna de Puchuncaví.

Caso1:Norma 400ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
9	\$ 16,212	\$ 53,215	\$ 138,519
14	\$ 25,219	\$ 82,779	\$ 215,474
19	\$ 34,225	\$ 112,342	\$ 292,429

Caso2 :Norma 305ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
33	\$ 58,375	\$ 138,033	\$ 396,553.00
38	\$ 67,219.00	\$ 158,948.00	\$ 456,637.00
43	\$ 76,064.00	\$ 179,862.00	\$ 516,721.00

Caso3 :Norma 495ppb	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Episodios al año	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
1	\$ 3,716	\$ 8,795	\$ 25,293
4	\$ 14,866	\$ 35,180	\$ 101,171
8	\$ 29,732	\$ 70,361	\$ 202,342

Finalmente,

**Tabla 6.14: Valor presente de los beneficios sociales netos entre 2003-2025
(Puchuncaví)**

	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
Casos	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
Caso1 :Norma 400ppb	\$ 25,219	\$ 82,779	\$ 215,474
Caso2 :Norma 305ppb	\$ 67,219	\$ 158,948	\$ 456,637
Caso3 :Norma 495ppb	\$ 14,866	\$ 35,180	\$ 101,171

Zona de influencia: Viña del Mar y Valparaíso

La siguiente tabla entrega el Valor presente de los beneficios por reducción de **1ppb de SO₂** en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar.

Multiplicado este valor por el delta de concentración, es posible estimar los beneficios ó daños de un cambio de concentraciones de SO₂ producto de aumento ó disminución de emisiones en el sector de Ventanas.

Por el momento no se cuenta de un modelo de dispersión adecuado, ni con datos estadísticos de monitoreo detallados para esta zona, por lo que no es posible establecer la relación cuantitativamente.

Tabla 6.15: Valor presente de los beneficios sociales netos por 1ppb de SO₂ en Viña del Mar entre 2003-2025

Días	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
4	\$ 28,493	\$ 68,919	\$ 197,412.00
14	\$ 99,726.00	\$ 241,217.00	\$ 690,944.00
38	\$ 270,686.00	\$ 654,732.00	\$ 1,875,419.00

Tabla 6.16: Valor presente de los beneficios sociales netos por 1ppb de SO₂ en Valparaíso entre 2003-2025

Días	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
4	\$ 29,120	\$ 69,812	\$ 199,606.00
14	\$ 101,920.00	\$ 244,344.00	\$ 698,620.00
38	\$ 276,640.00	\$ 663,219.00	\$ 1,896,254.00

Tabla 6.17: Valor presente de los beneficios sociales netos por 1ppb de SO₂ en Viña del Mar y Valparaíso entre 2003-2025

Días	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
4	\$ 57,613	\$ 138,731	\$ 397,018.00
14	\$ 201,646.00	\$ 485,561.00	\$ 1,389,564.00
38	\$ 547,326.00	\$ 1,317,951.00	\$ 3,771,673.00

6.2.3 Talcahuano

Tabla 6.18 Número de efectos por delta de concentración – Talcahuano “Norma Propuesta - Caso base

Caso1 : Norma 95 ppb														
Efecto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Muertes Prematuras	0.5525	1.1227	1.7110	2.3179	2.9438	3.5892	4.2545	4.9402	5.6469	6.3749	7.1248	7.8971	8.0252	8.1555
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.3390	0.6932	1.0634	1.4503	1.8544	2.2767	2.7179	3.1788	3.6603	4.1633	4.6888	5.2379	5.3653	5.4967
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.1167	0.2371	0.3613	0.4894	0.6215	0.7577	0.8981	1.0428	1.1918	1.3454	1.5035	1.6663	1.6934	1.7209
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.1219	0.2553	0.4012	0.5604	0.7339	0.9226	1.1276	1.3501	1.5911	1.8521	2.1343	2.4392	2.5559	2.6782
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.0732	0.1496	0.2294	0.3127	0.3998	0.4907	0.5858	0.6852	0.7891	0.8979	1.0117	1.1308	1.1591	1.1883
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.1344	0.2715	0.4114	0.5539	0.6993	0.8474	0.9985	1.1525	1.3094	1.4693	1.6323	1.7983	1.8174	1.8366

Efecto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	8.2878	8.4224	8.5591	8.6980	8.8391	8.9826	9.1284	9.2766	9.4271	9.5801	9.7356	9.8936
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	5.6322	5.7719	5.9161	6.0649	6.2185	6.3771	6.5409	6.7100	6.8848	7.0654	7.2520	7.4449
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	1.7488	1.7772	1.8060	1.8353	1.8651	1.8954	1.9262	1.9574	1.9892	2.0215	2.0543	2.0876
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	2.8063	2.9406	3.0813	3.2287	3.3832	3.5450	3.7147	3.8924	4.0786	4.2738	4.4782	4.6925
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	1.2187	1.2502	1.2829	1.3168	1.3520	1.3886	1.4266	1.4661	1.5072	1.5498	1.5942	1.6403
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	1.8560	1.8756	1.8955	1.9155	1.9358	1.9563	1.9770	1.9979	2.0190	2.0403	2.0619	2.0837

Tabla 6.19 Número de efectos por delta de concentración – Talcahuano “Norma Propuesta - Caso base

Caso1 : Norma 76 ppb	Años													
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Efecto														
Muertes Prematuras	1.1048	2.2445	3.4200	4.6321	5.8818	7.1699	8.4973	9.8650	11.274	12.725	14.219	15.758	16.014	16.274
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.6778	1.3860	2.1257	2.8985	3.7057	4.5488	5.4294	6.3491	7.3098	8.3132	9.3613	10.456	10.710	10.973
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.2333	0.4739	0.7220	0.9777	1.2413	1.5129	1.7927	2.0809	2.3777	2.6833	2.9979	3.3217	3.3756	3.4304
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.2437	0.5104	0.8019	1.1199	1.4661	1.8427	2.2517	2.6954	3.1760	3.6961	4.2585	4.8659	5.0987	5.3426
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.1464	0.2992	0.4588	0.6254	0.7994	0.9812	1.1712	1.3699	1.5777	1.7951	2.0225	2.2607	2.3171	2.3756
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.2687	0.5424	0.8211	1.1050	1.3940	1.6883	1.9880	2.2931	2.6037	2.9199	3.2418	3.5694	3.6072	3.6453

Efecto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	16.538	16.807	17.079	17.357	17.638	17.925	18.215	18.511	18.812	19.117	19.427	19.742
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	11.244	11.523	11.811	12.108	12.415	12.732	13.059	13.396	13.746	14.106	14.479	14.864
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	3.4861	3.5426	3.6001	3.6586	3.7180	3.7783	3.8396	3.9019	3.9653	4.0296	4.0950	4.1615
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	5.5982	5.8661	6.1468	6.4409	6.7490	7.0719	7.4103	7.7648	8.1363	8.5256	8.9335	9.3610
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	2.4363	2.4992	2.5646	2.6324	2.7029	2.7760	2.8520	2.9310	3.0130	3.0983	3.1870	3.2793
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	3.6839	3.7228	3.7622	3.8020	3.8422	3.8828	3.9239	3.9654	4.0073	4.0497	4.0926	4.1358

Tabla 6.20 Número de efectos por delta de concentración – Talcahuano “Norma Propuesta - Caso base

Caso1 : Norma 114 ppb	Años													
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Muertes Prematuras	0.0900	0.1828	0.2787	0.3776	0.4796	0.5849	0.6934	0.8053	0.9206	1.0395	1.1620	1.2881	1.3091	1.3303
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.0552	0.1129	0.1732	0.2362	0.3021	0.3709	0.4429	0.5181	0.5966	0.6787	0.7645	0.8541	0.8749	0.8963
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.0190	0.0386	0.0589	0.0798	0.1013	0.1235	0.1465	0.1701	0.1944	0.2195	0.2454	0.2720	0.2765	0.2809
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.0198	0.0416	0.0654	0.0913	0.1196	0.1504	0.1838	0.2201	0.2595	0.3021	0.3482	0.3980	0.4170	0.4370
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.0119	0.0244	0.0374	0.0509	0.0651	0.0799	0.0954	0.1116	0.1285	0.1462	0.1648	0.1842	0.1888	0.1935
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.0219	0.0443	0.0671	0.0904	0.1141	0.1384	0.1632	0.1884	0.2142	0.2405	0.2673	0.2947	0.2978	0.3009

Efecto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Muertes Prematuras	1.3519	1.3738	1.3961	1.4188	1.4418	1.4652	1.4890	1.5132	1.5377	1.5627	1.5880	1.6138
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	0.9184	0.9411	0.9647	0.9889	1.0140	1.0398	1.0665	1.0941	1.1225	1.1520	1.1824	1.2138
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.2855	0.2901	0.2948	0.2996	0.3045	0.3094	0.3145	0.3196	0.3247	0.3300	0.3354	0.3408
Adm. Hosp. por Neumonía (ICD 480-486)	0.4579	0.4798	0.5027	0.5268	0.5520	0.5784	0.6061	0.6351	0.6655	0.6973	0.7307	0.7656
Adm. Hosp. Pulmonar Obstructiva (ICD490-492, 496)	0.1985	0.2036	0.2089	0.2145	0.2202	0.2262	0.2324	0.2388	0.2455	0.2524	0.2596	0.2672
Adm. Hosp. Asma (ICD-9 493)	0.3041	0.3073	0.3106	0.3139	0.3172	0.3205	0.3239	0.3274	0.3308	0.3343	0.3378	0.3414

6.2.3.1 Valor Presente de los Beneficios Sociales por Caso

El valor presente de los beneficios anuales entre 2000 y 2025 se calculó usando una tasa de descuento del 12%.

Los beneficios sociales netos se calcularon como la diferencia entre los daños sociales del caso base y los casos norma, entre los años 2000 al 2025 para la comuna de Talcahuano.

Tabla 6.21: Valor presente de los beneficios sociales netos entre 2000-2025

(Talcahuano)

Casos	VP de los beneficios netos (US\$ 2000)		
	Perc 5%	Mediana	Perc 95%
Caso1 : Norma 95 ppb	\$ 4,371,098	\$ 15,206,234	\$ 39,104,421
Caso2 : Norma 76 ppb	\$ 8,728,642	\$ 30,342,873	\$ 78,039,485
Caso3 : Norma 114ppb	\$ 712,547	\$ 2,480,354	\$ 6,377,831

6.3 Monóxido de Carbono

En el caso de Monóxido de Carbono para los lugares en que se cuenta con información de monitoreo se puede observar que la normativa propuesta no modificaría las condiciones actuales de concentración atmosférica del contaminante debido a que las concentraciones atmosféricas son menores. Por lo tanto, no es posible calcular beneficios en salud con respecto a las actuales condiciones (es decir con respecto a la normativa vigente).

En particular, en la Región Metropolitana, lugar que presenta las concentraciones más elevada de este contaminante, las actuales concentraciones horarias son bastante menores tanto a la norma actual como a la norma propuesta. En lo que se refiere a la norma Max 8hr (9ppmv) según el anteproyecto de revisión de norma no sería modificada y por lo tanto no se obtienen beneficios en salud.

6.4 Dióxido de Nitrógeno

Los efectos en salud asociados al NO₂ no han sido cuantificados, debido a las siguientes razones:

Por un lado, no existe información relativa a la existencia de lugares donde se exceda la normativa propuesta. Si tomamos como ejemplo el caso de Santiago, este presenta niveles concentración bastante bajos para los cuales no existe evidencia de epidemiológica sobre efectos en salud (máxima horaria de 612 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1996). En general solo a niveles bastante más altos (mayores a 1990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se observan efectos en personas sanas. Para asmáticos, el nivel más bajo en el que se han observado efectos leves (cambios en la función pulmonar menores que un 5%) es entre 375-565 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [WHO, 1995]. Incluso en estos casos, los efectos que produce el NO₂ son cambios en la función pulmonar, efectos que no son valorables, ya que los individuos difícilmente los perciben.

Por otro lado, todas las funciones concentración-respuesta que miden efectos valorables, están en función de concentraciones intradomiciliarias, que en el caso del NO₂ se ven fuertemente afectadas por las fuentes internas de combustión, como estufas y cocinas a gas.

Finalmente, las reducciones de las emisiones de NO₂ están enfocadas a reducir las concentraciones ambientales de ozono. Los beneficios de las reducciones de emisiones de NO₂ corresponden en gran parte a los obtenidos para el O₃ más los directamente asociados al NO₂. Los beneficios de las reducciones de ozono son, en cualquier caso, bastante mayores que los posibles beneficios de reducir las concentraciones de NO₂.

7. Análisis de Riesgo asociado a las Normas Propuestas.

Existen diversas formas de caracterizar el riesgo en salud relacionado a un determinado nivel concentración. Por lo general, el riesgo se define como el porcentaje de efectos observados a la concentración en estudio, es decir, la razón entre los efectos estimados a cierta concentración con respecto al número total de efectos o simplemente como el número de efectos en exceso por persona estimados en el lugar estudiado.

El presente estudio entrega ambos cálculos. Es necesario enfatizar que el riesgo estimado con cualquiera de las dos medidas se basa en gran magnitud en datos locales (concentración atmosférica registrada del contaminante, datos estadísticos en salud, etc.), por lo tanto, los resultados aquí encontrados son válidos para la ciudad estudiada.

Un análisis de riesgo específico para el resto de Chile ó por lo menos para las principales regiones o ciudades implica necesariamente contar con una serie de información estadística del los lugares en estudio. En primer lugar es necesario conocer las concentraciones atmosféricas de él ó los contaminantes a las que esta expuesta la población, lo que permite establecer una relación entre estos niveles de concentración y los efectos en salud observados.

Riesgo asociado vs Riesgo aceptable

Antes de continuar es necesario aclarar lo que se entiende por una análisis de riesgo como el expuesto en el presente documento versus el cálculo ó estimación del riesgo aceptable. El primero como se mencionó anteriormente nos indica el porcentaje de efectos en salud con respecto al total que se tiene a cierta concentración y en particular, nos interesa calcular el riesgo que se acepta con cada una de las normas propuestas.

El riesgo aceptable por su parte nos indica cual es el riesgo que estamos dispuesto a aceptar y por lo tanto, que nivel de concentración de contaminante estamos dispuesto a permitir como sociedad. Este análisis escapa de los objetivos del presente capítulo, ya que, una vez propuestas las normas el interés radica en la evaluación del riesgo asociado a éstas, es decir, la estimación de riesgo que estamos aceptando al colocar un estándar de calidad primaria.

7.1 Riesgo en Salud Asociados a la Normativa Propuesta

El cálculo del riesgo asociado se realizó en base a la metodología detallada en el capítulo 1 del presente estudio, asimismo se utilizaron los datos referenciales propuesto en el capítulo 4. Específicamente, las funciones C-R, las concentraciones propuestas en la normativa y las estadísticas de número de efectos (además de las indicadas en el Anexo C). Por otra parte se utilizaron las concentraciones medias (ponderadas por población) de todas las estaciones de monitoreo en el lugar de estudio (Anexo E)⁹.

⁹ En el caso del O₃ en la provincia de Santiago se consideró una población equivalente por monitor. Para la ciudad de Copiapó, las concentraciones de SO₂ se ponderaron utilizando el método de Voronoi.

El valor del riesgo estimado depende de una serie de supuestos discutidos en detalle en el capítulo 1 en el que se describe la metodología utilizada. Cambios en el valor de estos parámetros (ej. C-R, concentraciones) implican un cambio de riesgo estimado. La incertidumbre asociada a cada uno de estos parámetros, se representa por la función distribución asociada a cada uno de ellos.

Por otro lado, se ha propuesto realizar un análisis de sensibilidad para algunos de estos parámetros y/o supuestos de tal forma de ilustrar el impacto que se tendría en el riesgo estimado.

En el cálculo de beneficios se trabajó bajo el supuesto de la no existencia de un umbral, esto debido que hasta el momento no se ha logrado establecer su valor ó existencia, por lo tanto, se trabajó bajo el supuesto de que existe algún grado de efectos en salud cualquiera sea la concentración de contaminante. En lo que respecta a estudios de beneficios este criterio ha sido adoptado en varios países. Por ejemplo es el criterio utilizado por la EPA 1997 y EPA 2000 (en su estudio CB CAA 1990-1997; CAA 2000-2010, EPA).

No obstante, resulta interesante realizar un análisis de sensibilidad con respecto a este punto ,es decir, el considerar la existencia de un posible umbral de concentración.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) en sus "Guidelines 2000" entrega una serie de valores de referencia para estándares ambientales. Valores obtenidos a través de la estimación de LOAES y factores de seguridad. En todo momento se establece que los valores entregados por la OMS corresponden a LOAES y no a umbrales de concentración. No obstante, para el análisis de sensibilidad se tomará como valor de umbral el valor de referencia entregado en este documento.¹⁰

El segundo análisis de sensibilidad corresponde al valor de la Norma 24hr propuesto de 95 ppb para el SO₂. En este caso se realiza el cálculo del riesgo asociado a 76 y 114ppb (con y sin umbral).

7.2 Estimación de Riesgo

En el desarrollo de este estudio se trabaja bajo el supuesto que indica como año de cumplimiento de la norma el año 2011, por lo que al calcular el riesgo anual asociado a esta normativa se esta estimando el valor que se observaría en ese año. Es importante hacer notar este punto ya que al hablar de un X % de riesgo, se obtiene con respecto al total de efectos (casos asociados y no asociados al contaminante) en el año 2011.

¹⁰ Guidelines 2000 WHO

7.2.1 Ozono O3

Tabla 7.1: Número de Efectos Anuales en la Provincia de Santiago (Año 2011)^(a)

Efectos	Grupo Edad	Casos I ^(b)	Casos II ^(c)
Muertes Prematuras	Total	12708 (12644-12773)	12725 (12671-12778)
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	Total	8333 (6925-10027)	16083 (15406-16760)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	> =65	15906 (15066-16747)	8712 (7506-10112)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	> = 65	2155 (1547-3000)	2207 (1691-2881)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	> = 65	4136 (3198-5348)	4349 (3535-5349)
Ataques de Asma	Asmáticos	2458362 (2386138-2532712)	2481374 (2422501-2541619)
Visitas Sala Emergencia Asma	Total	18717 (17470-19963)	19011 (18007-20015)
Consultas Infantiles IRAbaja	3-15	491615 (482031-501388)	495566 (487772-503485)
MRADs	18-65	23755180 (23095590-24433620)	24028440 (23489710-24579520)

Fuente: Elaboración propia

^(a) Considerando una población estimada de 5.5 millones en la Provincia de Santiago. El número entre paréntesis corresponde al intervalo de confianza de 90%.

^(b) Caso I: Efectos totales estimados en la Prov. Santiago en el año 2011 a una conc. de O3 Max 1hr 80 (ppb).

^(c) Caso II: Efectos totales estimados en la Prov. Santiago en el año 2011 a una conc. de O3 Max 8hr 60 (ppb).

Tabla 7.2: Riesgo Anual Asociado con Normativa en el año 2011

Efectos	Riesgo Anual Asociado con Normativa Actual (Año 2011)		Riesgo Anual Asociado con Normativa Propuesta (Año 2011)	
	Efectos en salud asociados a O3	Porcentaje sobre Efectos Totales	Efectos en salud asociados a O3	Porcentaje sobre Efectos Totales
Muertes Prematuras	67 (22-111)	0.53% (0.18-0.88)	84 (28-139)	0.66% (0.22-1.09)
Adm. Hosp. RSP: ICD 466,480-482,485,490-493 (Pob. total)	724 (53-1395)	4.55% (0.32-9.26)	901 (66-1735)	5.60% (0.39-11.26)
Adm. Hosp. RSP :ICD 460-519 (>= 65 años)	1389 (342-1946)	16.67% (3.41-28.11)	1768 (427-2527)	20.30% (4.22-33.67)
Adm. Hosp. COPD:ICD 490-496 (>= 65 años)	202 -(541-471)	9.37% -(18.03-30.41)	254 -(660-614)	11.52% -(22.90-36.3)
Adm. Hosp. Neumonía: ICD 480-487 (>= 65 años)	768 (2.1-1077)	18.58% (0.04-33.68)	981 (3-1414)	22.56% (0.05-40.01)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	474 (65-883)	-na-	590 (81 -1098)	-na-
Ataques de Asma (pob. Asmática)	94484 (37154-147046)	3.84% (1.47-6.16)	118089 (46303-184313)	4.76% (1.82-7.61)
Visitas Sala Emergencia Asma (pob total)	1206 (212-2201)	6.45% (1.06-12.60)	1501 (264-2738)	7.90% (1.32-15.21)
Consultas Infantiles IRAbaja (3-15 años)	15864 (8498-22824)	3.23% (1.70-4.74)	19817 (10595-28567)	4.00% (2.10-5.86)
MRADs (18-64 años)	1087488 (588785-1546913)	4.58% (2.41-6.70)	1360804 (734719-1941124)	5.66% (2.99-8.26)
Síntomas Respiratorios (18-64 años)	3674718 (855564-6493872)	-na-	4571832 (1064434-8079230)	-na-

Fuente: Elaboración propia

na : No es posible estimar el N° total de casos en el año 2011 debido a no contar con información sobre la tasa actual del efecto. El número entre paréntesis corresponde al intervalo de confianza de 90%.

7.2.2 Dióxido de azufre

Tabla 7.3: Número de Efectos Anuales Estimados en Copiapó en el Año 2011^(a)

Efectos	Grupo Edad	Casos I ^(b)	Casos II ^(c)
Mortalidad (prematura)	Total	807 (772 -842)	765 (743-788)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	19-64	350 (310 -394)	332 (307-359)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	>=65	321 (288 -358)	308 (287-330)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	>=65	153 (88 -264)	144 (101-206)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	136 (127-146)	133 (127-139)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	<15	6.2 (4.7 -8.1)	5 (4-6)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	Total	165 (141 -194)	154 (138-171)

Fuente: Elaboración propia

^(a)Población estimada de 170,000 personas en la comuna de Copiapó. El número entre paréntesis corresponde al intervalo de confianza de 90%.

^(b) Caso I: Considerando una concentración de SO₂ en Copiapó en el año 2011 igual a la norma actual de 139 ppb.

^(c) Caso II: Considerando una concentración de SO₂ en Copiapó en el año 2011 igual a la norma propuesta de 95 ppb.

Tabla 7.4: Riesgo Anual Asociado con Normativa de SO2 en el año 2011

Efectos	Riesgo Anual Asociado con Normativa Actual (Año 2011) ^(a)		Riesgo Anual Asociado con Normativa Propuesta (Año 2011) ^(b)	
	Efectos en salud asociados a SO2	Porcentaje sobre Efectos Totales	Efectos en salud asociados a SO2	Porcentaje sobre Efectos Totales
Mortalidad (prematura)	132.6 (95.5 -171)	16.44% (12.37-20.31)	88.3 (64.1 -113.2)	11.55% (8.63 -14.37)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	57.0 (11.0 -108)	16.30% (3.53--27.37)	38.0 (7.5 -70.5)	11.45% (2.43 -19.64)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	42.8 (4.2 -85.1)	13.34% (1.47-23.78)	28.7 (2.9 -55.9)	9.32% (1.01 -16.94)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	27.5 -(49.9 -151)	18.03% -(56.43-57.04)	18.3 -(36.1 -90.2)	12.70% -(35.77 -43.87)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	8.1 -(2.8 -19.5)	5.93% -(2.17-13.40))	5.5 -(1.9 -13.1)	4.09% -(1.48 -9.36)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	2.5 (0.9 -4.6)	40.95% (18.59-57.17)	1.6 (0.6 -2.8)	30.23% (13.11 -43.98)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	36.0 (7.6 -68.7)	21.81% (5.42--35.36)	23.8 (5.2 -44.0)	15.48% (3.74 -25.79)

Fuente: Elaboración propia

^(a) Caso I: Considerando una concentración de SO2 en Copiapó en el año 2011 igual a la norma actual de 139 ppb.^(b) Caso II: Considerando una concentración de SO2 en Copiapó en el año 2011 igual a la norma propuesta de 95 ppb.

7.3 Análisis de Sensibilidad

Tabla 7.5: Riesgo asociado a concentraciones norma de 76ppb SO₂.

Efectos	Grupo de Edad	Riesgo Anual Asociado con Normativa Propuesta (Año 2011)	
		Efectos en salud asociados a SO ₂	Porcentaje sobre Efectos Totales ^(a)
Muertes Prematuras	Total	69.8 (50.8 -89.2)	9.35% (6.97 -11.68)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	19-64	30.0 (5.9 -55.1)	9.27% (1.95 -16.04)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	>=65	22.7 (2.3 -43.9)	7.53% (0.81 -13.80)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	>=65	14.4 (-29.7 -67.9)	10.30% (-27.72 -37.00)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	4.3 (-1.5 -10.3)	3.29% (-1.18 -7.56)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	<15	1.2 (0.5 -2.1)	25.02% (10.64 -37.10)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	Total	(4.1 -34.2)	12.59% (3.00 -21.22)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.6: Riesgo asociado a concentración norma de 114 ppb SO₂.

Efectos	Grupo de Edad	Riesgo Anual Asociado con Normativa Propuesta (Año 2011)	
		Efectos en salud asociados a SO ₂	Porcentaje sobre Efectos Totales
Muertes Prematuras	Total	107.2 (77.6 -137.9)	13.69% (10.27 -16.99)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	19-64	46.1 (7.1 -88.2)	13.58% (2.91 -23.07)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	>=65	34.7 (5.3 -66.4)	11.08% (1.21 -19.96)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	>=65	22.2 (-42.2 -114.9)	15.04% (-44.34 -49.99)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	Total	6.6 (-2.3 -15.8)	4.89% (-1.78 -11.13)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	<15	2.0 (0.7 -3.5)	35.08% (15.52 -50.11)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	Total	29.0 (6.2 -54.4)	18.27% (4.47 -30.08)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.7: Riesgo asociado considerando concentración un umbral (47.7 ppb SO₂)

Efectos	Riesgo Anual Asociado con Normativa Propuesta (Año 2011) (Porcentaje sobre Efectos Totales- Copiapó)		
	Caso 1: Norma 95 ppb	Caso 2: Norma 76 ppb	Caso 3: Norma 114.ppb
Muertes Prematuras	6.21% (4.67 -7.70)	4.04% (3.02 -5.02)	8.44% (0.06 -0.10)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	6.11% (1.16 -10.46)	7.41% (0.86 -3.82)	8.47% (0.02 -0.14)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	1.12% (0.00 -14.07)	3.30% (0.35 -6.02)	6.92% (0.01 -0.12)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	6.91% -(19.76 -23.27)	4.50% -(12.31 -15.78)	11.38% -(0.28 -0.30)
Adm. Hosp. Pulmunar Obstructiva (ICD 490-492,496)	2.24% -(0.81 -5.11)	1.44% -(0.52 -3.31)	3.06% -(0.01 -0.07)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	16.26% (7.14 -23.32)	10.82% (4.65 -15.82)	21.65% (0.10 -0.31)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	8.41% (2.04 -13.92)	5.49% (1.32 -9.20)	11.38% (0.03 -0.19)

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

Anderson, H. R. (1997). "Air Pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: Results from the APHEA project." European Respiratory Journal **10**(5): 1064-1071.

Burnett, R. T. (1997). "Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalization for congestive heart failure in elderly in 10 Canadian cities." Epidemiology **8**(2): 162-167.

Burnett, R. T. (1999). "Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalization." Archives Environmental Health **54**(2): 130-139.

Burnett, R. T., S. Cakmak, et al. (1997). "The Role of Particulate Size and Chemistry in the Association between Summertime Ambient Air Pollution and Hospitalization for Cardiorespiratory Diseases." Environmental Health Perspectives **105**(6): 614-620.

Cifuentes, L., L. Lave, et al. (2000). "Effect of the fine fraction of particulate matter vs the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile." Journal of the Air & Waste Management Association **50**(August): 1287-1298.

Cifuentes, L. A. and C. Ojeda (1998). Valoración de efectos a la salud en Chile utilizando transferencia de valores. Santiago, P.U.C.

Deck, L., E. Post, et al. (1996). A Particulate Matter Risk Analysis for Philadelphia and Los Angeles, Abt Associates.

EPA (1997). The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990, U.S. Environmental Protection Agency.

EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990 to 2010, U.S. Environmental Protection Agency.

Holz, J. C. (2000). Estimación de costos unitarios en morbilidad y mortalidad, su aplicación para calcular los beneficios del plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana. Santiago, Universidad de Chile.

Katsouyanni, K., G. Touloumi, et al. (1997). "Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project." British Medical Journal **314**(7095): 1658-1663.

Krupnick, A., W. Harrington, et al. (1990). "Ambient Ozone and Acute Health Effects: Evidence from Daily Data." Journal of Environmental Economics and Management **18**: 1-18.

Moolgavkar, S. H., E. G. Luebeck, et al. (1997). "Air Pollution and Hospital Admissions for Respiratory Causes in Minneapolis-St. Paul and Birmingham." Epidemiology **8**(4): 364-370.

Ostro, B. D., G. S. Eskeland, et al. (1999). "Air Pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits among Children in Santiago, Chile." Environmental Health Perspectives **107**(1): 69-73.

Ostro, B. D. and S. Rothschild (1989). "Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity: An Observational Study of Multiple Pollutants." Environmental Research **50**: 238-247.

- Ponce, L. (1996). "Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 1991-92." J Epidemiology Community Health **50**(suppl 1): 63-70.
- Samet, J. S. (1997). *Particulate Air Pollution and Daily Mortality: Analyses of the Effects of Weather and Multiple Air Pollutants*, Health Effects Institute.
- Schwartz, J. (1994). "Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan." American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine **150**: 648-655.
- Schwartz, J. (1995). "Air pollution and hospital admissions for respiratory disease." Epidemiology **7**: 20-28.
- Schwartz, J. (1995). "Short term fluctuations in air pollution and hospital admissions of the elderly for respiratory disease." Thorax **50**(5): 531-538.
- Schwartz, J. (1996). "Air Pollution and hospital admissions for respiratory disease." Epidemiology **7**(1): 20-28.
- Schwartz, J. (1997). "Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Tucson." Epidemiology **8**(4): 371-377.
- Schwartz, J. (1999). "Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties." Epidemiology **10**(1): 17-22.
- Schwartz, J. and R. Morris (1995). "Air Pollution and hospital admission for Cardiovascular Disease in Detroit, Michigan." American Journal of Epidemiology **142**(1): 23-35.
- Schwartz, J., C. Spix, et al. (1996). "Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions." Journal of Epidemiology and Community Health **50** (suppl A): S3-S11.
- Sheppaerd, L. (1999). "Effects of ambient air pollution on nonelderly asthma hospital admissions in Seattle, Washington, 1987-1994." Epidemiology. **10**(1): 23-30 **10**(1): 23-30.
- Stieb, D. M. and Burnett (1996). "Association between ozone and asthma emergency department visits in Saint John, New Brunswick, Canada." Environmental Health Perspectives **104**(12): 1354-1360.
- Sunyer, J. (1997). "Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four in European cities: the APHEA Project." Thorax **52**(9): 760-765.
- Thurston, G. D., J. E. Gorczynski, et al. (1994). "The nature and origins of acid summer haze air pollution in metropolitan Toronto, Ontario." Environmental Research **65**: 254-270.
- Vigotti, M. (1996). "Short term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan , Italy 1980-89." Journal Epidemiology Community Health **50**(1): 71-75.
- Whittemore, A. S. and E. L. Korn (1980). "Asthma and air pollution in the Los Angeles area." American Journal of Public Health **70**(7): 687-696.
- WHO (1995). *Update and revision of the air quality guidelines for Europe*. The Netherlands, WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2000). *Guidelines for Air Quality*. Geneva, WHO Regional Office for Europe.

ANEXOS

Anexo A: Abreviaturas y Términos Utilizados

En el cuerpo del presente estudio se hizo referencia en una o más oportunidades a las siguientes siglas o abreviaturas. A continuación a modo de garantizar la comprensión del texto se presenta un listado que resume los significados éstas.

β o beta	Coeficiente de la relación concentración respuesta.
C-R	Función Concentración-Respuesta.
EPA	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
LRS	Síntomas Respiratorios Bajos
MACAM	Red de Monitoreo Ambiental de la Calidad del Aire.
MP	Material Particulado.
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno.
O ₃	Ozono.
OR	Odds Ratio.
Perc	Percentil.
PM ₁₀	Material Particulado con diámetro menor a 10 micrones.
PM _{2.5}	Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micrones.
PPDA	Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana.
Pob.	Población.
R.M.	Región Metropolitana.
RR	Riesgo Relativo.
s.e.	Desviación Estándar.
SO ₂	Dióxido de Azufre.
VP	Valor Presente.

ANEXO B: Incertidumbres

Tabla B.0.1

Incertidumbres	Comentarios
Estimación empírica de las funciones concentración -respuesta	La relación estadística no prueba causalidad. Como se trata de relaciones empíricas, existe incertidumbre rodeando estas estimaciones. Si es omitida alguna de estas estimaciones se producirá un sesgo hacia arriba.
Transferibilidad de relaciones C-R	Las funciones C-R no necesariamente son validas en lugar o periodo de tiempo distinto al donde fueron estimadas. Aquí influyen factores tales como educación, accesibilidad a los sistemas de salud, exposición de la población y características propias del contaminante.
Extrapolación de las funciones más allá de rango de los datos observados	En rigor una función C-R, es valida solamente en el rango de concentraciones de donde fue estimada, debido a que no se conoce la forma de la distribución fuera de este rango
Tasa base de efectos	La información utilizada puede no ser precisa debido a la no-existencia de estas de tasas bases, para todos los efectos considerados

ANEXO C: Tasas base de efectos

C.1 Tasas base de la literatura

Tabla C.1 Resumen de tasas bases de la literatura utilizadas

Efecto	Tasa Base (Efectos/día/100000p)				Comentarios	Fuente
	Total	Niños	Adultos	>=65		
Ataque de Asma	2700				4.07% pob asmática Chile	Krupnick .1998
Días Dificultad Respiratoria		5600				EPA 2000
MRADs			2137.0			EPA 2000

C.2 Tasas base calculadas a partir de datos estadísticos en Chile por comuna

Observaciones:

- Los datos estadísticos de admisiones hospitalarias corresponden a las estadísticas de egresos hospitalarios de residentes en cada una de las comunas.
- Las admisiones hospitalarias incluyen hospitales y centros médicos públicos y privados.

Tabla C.2 Resumen de tasas base de Chile

Provincia de Santiago	Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente
Mortalidad (sin accidentes)	1.23				INE 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	2.08	3.75	0.63	5.28	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	1.21	2.13	0.28	4.07	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	0.91	1.64	0.20	2.90	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	0.83	1.73	0.12	1.93	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	1.07	2.00	0.22	3.16	Ministerio de Salud Chile, 1996
Consultas Médicas Ira Baja (<15 años)		114			Estimación a partir de datos 1998 Programa IRA (Centros Centinela)
Comuna de Hijuelas	Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente
Mortalidad (sin accidentes)	1.30	0.14	0.41	15.6	INE 1998
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	2.88	5.19	0.88	6.13	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. RSP (ICD 466,480-482,485,490-493)	1.66	3.37	0.33	2.78	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	0.36	0.47	0.165	1.39	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.95	3.79	0.46	3.62	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.04	0.05	0	0.29	Ministerio de Salud Chile, 1996

Comuna de Copiapó		Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente	
Mortalidad (sin accidentes)	1.12	0.28	0.50	13.73	INE 1998	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	2.41	4.03	0.84	6.98	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.22	-	0.20	2.07	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	0.98	1.69	0.27	3.17	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.20	0.26	0.06	1.29	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.05	0.02	0.05	0.18	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Comuna de Tierra Amarilla		Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente	
Mortalidad (sin accidentes)	0.59	0.09	0.20	12.77	INE 1998	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	4.69	7.89	0.93	27.40	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.24	-	0.36	1.17	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	2.61	4.23	0.39	19.24	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.65	1.15	0.11	3.50	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.06	-	0.11	-	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Comuna de Puchuncaví		Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente	
Mortalidad (sin accidentes)	1.05	0.19	0.50	7.62	INE 1998	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	2.88	5.10	0.84	7.65	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.14	-	0.24		Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.24	1.88	0.44	3.96	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.82	1.74	0.04	2.37	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.09	0.07	0.08	0.26	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Comuna de Viña del Mar		Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente	
Mortalidad (sin accidentes)	1.42	0.15	0.53	11.98	INE 1998	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	3.12	6.14	0.89	5.27	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.43	0.00	0.34	2.77	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.42	3.07	0.26	2.24	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.44	0.90	0.05	1.08	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.16	0.32	0.06	0.18	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Comuna de Valparaíso		Tasa Base (Efectos/día/100000p)				
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas	Total	Niños	Adultos	>=65	Fuente	
Mortalidad (sin accidentes)	1.80	0.15	0.81	14.90	INE 1998	
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	3.49	5.06	1.36	11.01	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.67	0.01	0.49	4.65	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.75	2.69	0.51	6.09	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.41	0.51	0.14	1.77	Ministerio de Salud Chile, 1996	
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.13	0.17	0.10	0.20	Ministerio de Salud Chile, 1996	

Comuna de Talcahuano	Tasa Base (Efectos/día/100000p)				Fuente
	Total	Niños	Adultos	>=65	
Tasas Diaria 1996 de Egresos/100.000-día personas					
Mortalidad (sin accidentes)	1.14	0.19	0.63	12.58	INE 1998
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	3.11	5.25	1.08	8.66	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.18	-	0.16	1.67	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.17	1.96	0.36	3.76	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Pulmunar Obs. (ICD 490-492,496)	0.43	0.68	0.11	2.05	Ministerio de Salud Chile, 1996
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.12	0.25	0.03	0.11	Ministerio de Salud Chile, 1996

ANEXO D: Población Expuesta

La población expuesta para cada una de las provincias y comunas se estimó a partir de los datos estadísticos del INE (Censo de Población, 1992). Utilizando los datos del Censo de 1992 la proyección de población para el año 1998 (INE Dpto. de Estadísticas) se es estimó la tasa de crecimiento anual de la población por grupo de edad con lo cual se proyectó la población para el periodo de análisis.

La proyección de la población se realizo en forma exponencial

A continuación se entrega un cuadro resumen con la población estimada para el periodo 2000-2011 en las comunas estudiadas.

Tabla D1 Proyección de población Provincia de Santiago (32 comunas)

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	1,686,398	1,696,813	1,707,292	1,717,837	1,728,446	1,739,121	1,749,862	1,760,669	1,771,543	1,782,484	1,793,492	1,804,569
Adultos (20-64 años)	2,766,118	2,805,360	2,845,159	2,885,522	2,926,458	2,967,975	3,010,080	3,052,783	3,096,092	3,140,016	3,184,562	3,229,740
Mayores (65 y más)	373,522	386,464	399,853	413,707	428,040	442,871	458,215	474,090	490,516	507,511	525,094	543,287
Población Total	4,826,038	4,888,637	4,952,304	5,017,066	5,082,944	5,149,967	5,218,157	5,287,542	5,358,151	5,430,011	5,503,148	5,577,596

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D2 Proyección de población comuna de Copiapó

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	48,385	49,289	50,211	51,149	52,105	53,079	54,072	55,083	56,112	57,161	58,230	59,319
Adultos (20-64 años)	71,036	73,123	75,271	77,482	79,758	82,101	84,512	86,995	89,550	92,181	94,888	97,676
Mayores (65 y más)	7,029	7,330	7,645	7,972	8,314	8,671	9,042	9,430	9,834	10,256	10,696	11,154
Población Total	126,450	129,742	133,126	136,603	140,177	143,851	147,626	151,507	155,497	159,598	163,814	168,148

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D3 Proyección de población comuna de Tierra Amarilla

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	6,418	6,627	6,843	7,066	7,297	7,535	7,780	8,034	8,296	8,566	8,846	9,134
Adultos (20-64 años)	8,918	9,263	9,623	9,996	10,384	10,786	11,205	11,639	12,091	12,560	13,047	13,553
Mayores (65 y más)	559	582	606	632	658	686	714	744	775	807	841	876
Población Total	17,894	18,474	19,074	19,697	20,343	21,012	21,705	22,425	23,170	23,943	24,744	25,575

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D4 Proyección de población comuna de Hijuelas

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	6,091	6,150	6,209	6,268	6,329	6,389	6,451	6,513	6,575	6,638	6,702	6,766
Adultos (20-64 años)	9,015	9,203	9,395	9,591	9,791	9,995	10,203	10,416	10,633	10,854	11,081	11,311
Mayores (65 y más)	1,073	1,099	1,126	1,153	1,182	1,210	1,240	1,270	1,302	1,333	1,366	1,399
Población Total	16,179	16,452	16,730	17,013	17,301	17,595	17,894	18,199	18,509	18,826	19,149	19,477

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D5 Proyección de población comuna de Puchuncaví

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	4,389	4,468	4,549	4,631	4,715	4,800	4,887	4,976	5,066	5,158	5,251	5,346
Adultos (20-64 años)	7,455	7,630	7,808	7,990	8,177	8,368	8,563	8,763	8,968	9,178	9,392	9,611
Mayores (65 y más)	1,262	1,321	1,384	1,450	1,518	1,590	1,666	1,745	1,827	1,914	2,005	2,100
Población Total	13,106	13,419	13,741	14,071	14,410	14,759	15,116	15,484	15,861	16,249	16,648	17,057

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D6 Proyección de población comuna de Viña del Mar

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	119,270	120,155	121,046	121,943	122,847	123,758	124,676	125,601	126,532	127,470	128,415	129,368
Adultos (20-64 años)	193,108	195,673	198,272	200,906	203,575	206,279	209,019	211,795	214,609	217,460	220,348	223,275
Mayores (65 y más)	31,964	33,041	34,155	35,306	36,496	37,727	38,998	40,313	41,672	43,077	44,529	46,030
Población Total	344,342	348,869	353,473	358,155	362,918	367,764	372,693	377,709	382,813	388,007	393,292	398,673

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D7 Proyección de población comuna de Valparaíso

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	103,462	103,702	103,942	104,182	104,423	104,665	104,907	105,150	105,394	105,637	105,882	106,127
Adultos (20-64 años)	166,968	167,811	168,658	169,510	170,366	171,226	172,090	172,959	173,832	174,710	175,592	176,479
Mayores (65 y más)	26,317	26,725	27,139	27,559	27,986	28,420	28,860	29,308	29,762	30,223	30,691	31,167
Población Total	296,747	298,237	299,739	301,251	302,775	304,311	305,858	307,417	308,988	310,570	312,165	313,772

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D8 Proyección de población comuna de Talcahuano

Grupo de Edad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Niños (0-19 años)	109,682	110,842	112,014	113,199	114,396	115,606	116,829	118,065	119,313	120,575	121,850	123,139
Adultos (20-64 años)	159,988	162,762	165,584	168,455	171,376	174,347	177,370	180,445	183,574	186,757	189,995	193,289
Mayores (65 y más)	17,318	18,147	19,015	19,925	20,878	21,877	22,924	24,021	25,170	26,374	27,636	28,959
Población Total	286,988	291,751	296,613	301,579	306,650	311,830	317,123	322,531	328,057	333,706	339,482	345,387

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 1992

Tabla D9 Población localidad La Negra

Población estimada
34

Fuente: Conama 2001

ANEXO E: Cálculo de Riesgo

En el cálculo del riesgo es necesario estimar los efectos en exceso que se observarían en el total de la población expuesta de la comuna estudiada. Por lo tanto, es necesario calcular la concentración media a la que se ve expuesta la población.

El primer paso consiste en asignar a cada monitor ubicado en la zona de estudio la fracción del total de la población de la comuna que está expuesta a las concentraciones registradas por dicho monitor. Debido a no contar con un modelo de dispersión de contaminante, se realizan los supuestos que se detallan a continuación.

Provincia de Santiago

En el caso particular de la Provincia de Santiago se considera que la población expuesta a las concentraciones medidas en cada uno de los 8 monitores es 12.5% de la población total en estudio; es decir, se asignó una proporción igual de la población a cada uno de los monitores, por lo tanto, la concentración promedio Max1hr en la provincia de Santiago corresponde a:

Tabla E1 Concentración Provincia de Santiago 1999

Estaciones de Monitoreo MACAM II	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Promedio (ppb)
Población expuesta	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	
Promedio Anual Max diarios 1hr	29	45	57	68	50	43	46	44	48

Fuente: Elaboración propia

Comuna de Copiapó

En la comuna de Copiapó existen 46 unidades vecinales y 4 estaciones de monitoreo que actualmente miden las concentraciones de SO₂. Dado que se conocen las concentraciones de los contaminantes en cada estación se procederá a aplicar la metodología de los polígonos de Voronoi, para asignar a cada monitor la fracción del total de la población de la comuna que está expuesta a las concentraciones registradas por dicho monitor.

Al aplicar el método de Voronoi, las simetrales de gravedad entre los puntos que representan cada estación de monitoreo de SO₂; se obtienen un conjunto de celdas que agrupan la fracción de población asignada a cada uno de las estaciones de monitoreo.

**Tabla E2 Asignación de población según estación de monitoreo de SO₂
Comuna de Copiapó**

Estación	Fracción de Población
Copiapó	0.40
Los Volcanes	0.49
San Fernando	0.04
Paipote	0.07

Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la población asignada a cada monitor es posible calcular la concentración media anual para la comuna en estudio; ponderando los datos de concentración para cada monitor por la fracción de población correspondiente.

Tabla E3 Concentración comuna de Copiapó

	1996	1997	1998	1999
Promedio Anual 24hr SO2 (ppb)	17.88	8.76	8.04	3.76

Fuente: Elaboración propia