



GreenLabUC

Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

**NUEVOS ELEMENTOS
PARA LA INCLUSIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS EN
LA ELABORACIÓN DE AGIES**

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

Santiago, 11 de Mayo de 2012

Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	8
1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VALORACIÓN DE REDUCCIONES DE RIESGOS FATALES.....	20
3.1 VALORACIÓN DE REDUCCIONES DE RIESGO FATAL - ENFOQUE <i>EX ANTE</i>	20
3.1.1 <i>Enfoque Microeconómico</i>	21
3.1.2 <i>Estimación del Valor de las Reducciones de Riesgo Fatal</i>	45
3.1.3 <i>Uso del Valor de las reducciones de riesgo fatal en Evaluación Social de Proyectos - Práctica Internacional</i>	69
3.2 CALCULO DEL CAPITAL HUMANO – ENFOQUE <i>EX POST</i>	73
3.2.1 <i>Metodología</i>	73
3.2.2 <i>Información Utilizada</i>	74
3.2.3 <i>Resultados</i>	78
3.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
4. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS EN SALUD DE LOS CONTAMINANTES PM_{2.5}, SO_x Y NO_x Y ELABORACIÓN DE MODELO DE DAÑOS MARGINALES	82
4.1 MATERIAL PARTICULADO FINO (PM _{2.5})	83
4.1.1 <i>Corto Plazo</i>	85
4.1.2 <i>Largo Plazo</i>	86
4.1.3 <i>Resumen Asociaciones Causales</i>	88
4.2 ÓXIDOS DE SULFURO (SO _x).....	89
4.2.1 <i>Corto Plazo</i>	89
4.2.2 <i>Largo Plazo</i>	94
4.2.3 <i>Resumen Asociaciones Causales</i>	96
4.3 ÓXIDOS NITROSOS (NO _x).....	97
4.3.1 <i>Corto Plazo</i>	97
4.3.2 <i>Largo Plazo</i>	100
4.3.3 <i>Resumen Asociaciones Causales</i>	103
4.4 SELECCIÓN DE FUNCIONES D-R.....	103
4.4.1 <i>Material Particulado Fino (PM_{2.5})</i>	105
4.4.2 <i>Óxidos de Sulfuro y Óxidos Nitrosos</i>	107
4.5 CÁLCULO DEL DAÑO MARGINAL.....	108
4.5.1 <i>Población Expuesta</i>	110
4.5.2 <i>Tasas de Incidencia</i>	110
4.5.3 <i>Valorización Social de los Efectos</i>	116
4.5.4 <i>Daño Marginal</i>	116
4.6 MODELO COMPUTACIONAL.....	118
5. ANÁLISIS DISTRIBUTIVO.....	119
5.1 ESTUDIO DE COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO SEGÚN NSE	121
5.1.1 <i>Metodología utilizada</i>	121
5.1.2 <i>Información Utilizada</i>	123

5.1.3	<i>Resultados</i>	125
5.2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	131
5.3	CONCLUSIONES.....	137
6.	REFINAR METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE BENEFICIOS DE GUÍA DE REFERENCIA	138
6.1	DOBLE CONTEOS.....	138
6.2	TASAS DE INCIDENCIA POR GRUPO DE EDAD	141
6.3	ASIGNACIÓN EFECTOS A TIPO DE PREVISIÓN.....	142
6.4	ASIGNACIÓN EFECTOS A GRUPO DE EDAD	144
7.	CAPACITACIÓN A FUNCIONARIOS DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	145
7.1.1	<i>Contenidos abordados</i>	146
7.1.2	<i>Reporte Capacitación según Encuesta realizada</i>	147
8.	ANEXOS	150
I.	RECOPIACIÓN FUNCIONES DOSIS RESPUESTA.....	151
I.1	MATERIAL PARTICULADO FINO (PM _{2.5})	151
I.2	DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	153
I.3	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂).....	157
II.	CLASIFICACIÓN COMUNAL SEGÚN NIVEL SOCIOECONÓMICO	160
III.	DETALLE DEL PROGRAMA DE LA CAPACITACIÓN REALIZADA.....	162
IV.	PRESENTACIÓN REALIZADA PARA ABORDAR EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1	164
V.	INFORMACIÓN UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DEL VALOR DE CAPITAL HUMANO	169
VI.	VALOR CAPITAL HUMANO SEGÚN GÉNERO Y EDAD	179
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	181

Lista de Tablas

Tabla 0-1 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas - PM _{2.5}	10
Tabla 0-2 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas - SO ₂ y NO ₂	11
Tabla 0-3 Daño Marginal Contaminante PM _{2.5} según Región – Año 2012.....	12
Tabla 0-4 Daño Marginal Contaminantes SO ₂ y NO ₂ según Región – Año 2012.....	13
Tabla 1-1 Listado de AGIES elaborados en Chile producto de un anteproyecto de norma.....	16
Tabla 3-1 Ejemplo ficticio sobre el impacto de un proyecto que reduce el riesgo de muerte en un instante de tiempo sobre la probabilidad de seguir cumpliendo años hacia el futuro	35
Tabla 3-2 Casos de Estudio	36
Tabla 3-3 Estimación de Valores de Reducción de Riesgo Fatal por Salarios Hedónicos	48
Tabla 3-4 Estimación de Valores de Reducción de Riesgo Fatal Vial por Valoración Contingente.....	52
Tabla 3-5 Una situación de elección típica	62
Tabla 3-6 Estimadores puntuales e intervalos de confianza al 95% de valores de reducciones de riesgo en base a modelos logit binarios	64
Tabla 3-7 Fortalezas y debilidades de cada método de estimación del VRRF	66
Tabla 3-8 Resumen de resultados de estudios chilenos de valoración de eventos de mortalidad	68
Tabla 3-9 VRRF oficiales utilizados en evaluación social de proyectos de transporte (Millones USD 2011, ajustados por poder de paridad de compra)	69
Tabla 3-10 Estimadores de valoración de mortalidad considerados por EPA	72
Tabla 3-11 Clasificación Inactivos según respuesta a pregunta O6 de CASEN 2009	76
Tabla 3-12 Valor de Capital Humano (\$2009).....	78
Tabla 3-13 Valor de Capital Humano (Actualizado a Noviembre 2011)	78
Tabla 4-1 Estudios Epidemiológicos Nacionales sobre el impacto producto del MP	84
Tabla 4-2 Incremento del Riesgo Relativo (PM _{2.5}) según causa específica de Estudios Epidemiológicos Nacionales	84
Tabla 4-3 Resumen de asociaciones causales para la exposición a PM _{2.5}	89
Tabla 4-4 Resumen de asociaciones causales para la exposición a SO ₂	97
Tabla 4-5 Resumen de asociaciones causales para la exposición a NO ₂	103
Tabla 4-6 Resumen de asociaciones causales para la exposición a PM _{2.5}	103
Tabla 4-7 Resumen de asociaciones causales para la exposición a SO ₂	104
Tabla 4-8 Resumen de asociaciones causales para la exposición a NO ₂	104
Tabla 4-9 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas para la exposición a Corto Plazo de PM _{2.5}	106
Tabla 4-10 Funciones Dosis Respuesta recomendadas para la exposición a Corto Plazo – Morbilidad Respiratoria de SO ₂ y NO ₂	108
Tabla 4-11 Tasas de Mortalidad Cardiopulmonar por Región (Tasa por cada 100.000 hab)	111
Tabla 4-12 Tasas de Mortalidad (todas las causas) por Región (Tasa por cada 100.000 hab)	112
Tabla 4-13 Tasas de Admisiones Hospitalarias que son utilizadas.	113
Tabla 4-14 Cálculo de la tasa de incidencia de días laborales perdidos a nivel nacional	114
Tabla 4-15 Actualización de Tasa de Incidencia para el efecto “WLD”	115
Tabla 4-16 Tasas de Incidencia utilizadas - Días con actividad nula, restringida y restringida leve	115
Tabla 4-17 Valores Utilizados en la cuantificación de los efectos considerados (UF/caso).....	116
Tabla 4-18 Daño Marginal Contaminante PM _{2.5} según Región – Año 2012.....	117
Tabla 4-19 Daño Marginal Contaminantes SO ₂ y NO ₂ según Región – Año 2012.....	118
Tabla 5-1 Clasificación según Nivel Educación	121
Tabla 5-2 Clasificación según Tipo de Beneficiario	122
Tabla 5-3 Clasificación según Tipo de Previsión	122
Tabla 5-4 Clasificación utilizada en el presente estudio según Sistema de Previsión	123
Tabla 5-5 Completitud de la base de datos de concentraciones para PM _{2.5}	124
Tabla 5-6 Completitud de la base de datos de concentraciones para PM ₁₀	124

Tabla 5-7 Modelos estadísticos analizados.....	126
Tabla 5-8 Incremento de Riesgo Relativo según Clasificación Comunal.....	137
Tabla 6-1 Revisión efectos considerados con sus respectivos códigos identificar doble conteo	139
Tabla 6-2 Comparación Tasas CLD con efecto Asma v/s Tasas CLD sin efecto Asma – Grupo de edad Adultos1 [casos/10 ⁵ habitantes].....	139
Tabla 6-3 Comparación Tasas CLD de Guía de Referencia v/s Actualización – Grupo de edad Adultos2 [casos/10 ⁵ habitantes].....	140
Tabla 6-4 Actualización de Tasa de Incidencia para el efecto “WLD”	141
Tabla 6-5 Códigos de causas específicas para selección de casos de Mortalidad Cardiopulmonar	142
Tabla 6-6 Comparación Tasas Mortalidad CPM de Guía de Referencia v/s Actualización [casos/10 ⁵ habitantes]..	142
Tabla 6-7 Calculo de Tasas de Incidencia para WLD según Tipo de Previsión	144
Tabla 8-1 Numero de Muertes Año 2009 según genero y edad.....	169
Tabla 8-2 Probabilidad de estar vivo a la edad de j+1 dado que se tiene la edad j según genero y edad.....	170
Tabla 8-3 Población Año 2009 según genero y edad.....	171
Tabla 8-4 Población Empleada Año 2009 según genero y edad	172
Tabla 8-5 Población Desocupada Año 2009 según genero y edad	173
Tabla 8-6 Población Inactiva con Labores Productivas Año 2009 según genero y edad	174
Tabla 8-7 Población Inactiva con Salario de Reserva Año 2009 según genero y edad	175
Tabla 8-8 Población Inactiva sin Labores productivas Año 2009 según genero y edad	176
Tabla 8-9 Población Ocupada según genero y edad (Empleada + Inactiva con Labores Productivas + Inactiva con salario de Reserva).....	177
Tabla 8-10 Ingreso Medio Anual Año 2009 según genero y edad	178
Tabla 8-11 Valor Capital Humano según genero y edad (\$ de 2011)	179
Tabla 8-12 Valor Capital Humano según genero y edad (UF).....	180

Lista de Figuras

Figura 3-1 Variación en la DAP antes cambios en el nivel de riesgo base. Cuando la provisión de q se incrementa, el nivel de riesgo p se reduce; por lo tanto, p crece en la dirección contraria a q	23
Figura 3-2 Valor implícito de la vida a lo largo del ciclo de vida en cuatro escenarios.....	37
Figura 3-3 Valor de Capital Humano según Edad y Género (S de 2011).....	79
Figura 3-4 Valor de Capital Humano según Edad y Género (UF)	79
Figura 4-1 Cambio porcentual en la mortalidad anual por una reducción permanente de 1 ug/m ³ de PM _{2.5}	88
Figura 4-2 Riesgo relativo en Mortalidad por un aumento de 10 ppb de SO ₂ (promedio 24h).....	92
Figura 4-3 Riesgo relativo en Mortalidad (Respiratoria y Cardiovascular) por un aumento de 10 ppb de SO ₂ (promedio 24h).....	93
Figura 4-4 Riesgo relativo en Mortalidad (Respiratoria y Cardiovascular) por un aumento de 5 ppb de SO ₂ (promedio anual).....	96
Figura 4-5 Riesgo en mortalidad provocado por un aumento en las concentraciones de NO ₂ basado en estudios de múltiples ciudades o meta análisis	99
Figura 4-6 Riesgo relativo en Mortalidad por un aumento de 10 ppb de NO ₂ anual	102
Figura 5-1 Riesgo relativo (IC 95%) para todas las causas de mortalidad por un incremento en los niveles de PM ₁₀ de acuerdo a clasificación socioeconómica	119
Figura 5-2 Riesgo relativo según Nivel de Educación por causas de mortalidad para un incremento en los niveles de PM _{2.5}	120
Figura 5-3 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m ³ de PM _{2.5} para Mortalidad (todas las causas) y todos los grupos de edad	126
Figura 5-4 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m ³ de PM _{2.5} para Mortalidad Cardiopulmonar Mayores a 30 años.....	127

Figura 5-5 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Cardiovasculares – Grupo de Edad: 18-64.....128

Figura 5-6 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Cardiovasculares – Grupo de Edad: 65+129

Figura 5-7 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 0-17.....129

Figura 5-8 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 18-64.....130

Figura 5-9 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 65+130

Figura 5-10 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación131

Figura 5-11 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Ingreso132

Figura 5-12 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Ciudad de Mexico133

Figura 5-13 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Sao Paulo134

Figura 5-14 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Santiago134

Figura 5-15 Riesgo Relativo (IC 95%) según Clasificación Comunal – Santiago136

Figura 8-1 Clasificación Comunas de Provincia de Santiago según Nivel Socioeconómico de estas – Clasificación Tipo A.....160

Figura 8-2 Clasificación Comunas de Provincia de Santiago según Nivel Socioeconómico de estas – Clasificación Tipo B.....161

Acrónimos y Abreviaturas

Instituciones

CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
DICTUC	Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile
FONASA	Fondo Nacional de Salud
ISAPRE	Institución de Salud Previsional
INE	Instituto Nacional de Estadística
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación y Cooperación
MINSEGPRES	Ministerio Secretaría General de la República
USEPA/EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

Monedas

CLP	Pesos de Chile
EUR	Euros
MUSD	Millones de Dólares Americanos
USD	Dólares Americanos

Países

EE.UU	Estados Unidos de América
UE	Unión Europea

Efectos a la Salud

CHD	Enfermedad Cardioisquémica, por sus siglas en inglés <i>“Congestive Heart Disease”</i>
CHF	Falla Cardioisquémica, por sus siglas en inglés <i>“Congestive Heart Failure”</i>
COPD	Enfermedad Respiratoria Crónica, por sus siglas en inglés <i>“Chronic Obstructive Pulmonary Disease”</i>
CVD	Enfermedad Cardiovascular, por sus siglas en inglés <i>“Cardiovascular Disease”</i>
DYS	Disrritmia, por sus siglas en inglés <i>“Dysrhythmia”</i>
HA	Admisiones Hospitalarias
IHD	Enfermedad Cardioisquémica, por sus siglas en inglés <i>“Isquemic Heart Disease”</i>
LRI	Infección Respiratoria Aguda, por sus siglas en inglés <i>“Lower Respiratory –Tract Infection”</i>
RTI	Infeccion Tracto-Respiratoria, por sus siglas en inglés <i>“Respiratory Track Infection”</i>

TIA	Ataque Isquémico Transiente, por sus siglas en inglés <i>“Transient Isquemic Attack”</i>
WLD	Días de Trabajo Perdido, por sus siglas en inglés <i>“Working Lost Days”</i>
MRAD	Días de Actividad Restringida Leve, por sus siglas en Inglés <i>“Minor Restricted Activity Days”</i>
RAD	Días de Actividad Restringida, por sus siglas en inglés <i>“Restricted Activity Days”</i>
SLD	Días Escolares Perdidos, por sus siglas en inglés <i>“School Lost Days”</i>
MST	Mortalidad Prematura Exposición de Corto Plazo
MLTCPM	Mortalidad Prematura Cardiopulmonar Exposición de Largo Plazo

Grupos de Edad

All	Todas las edades
<18 o 0 – 17	Niños
18 – 64	Adultos
30 – 64	Adultos30 (Adultos mayores a 30 años y menores a 65)
65+	Adultos Mayores

Abreviaturas

ACB	Análisis Costo Beneficio
AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social
BS	Beneficio Social
BSN	Beneficio Social Neto
COI	Costo de Tratamiento Médico, por sus siglas en inglés <i>“Cost of illness”</i>
DAP	Disposición a Pagar
FA	Sistema de Previsión FONASA tipo de beneficiario A
FB	Sistema de Previsión FONASA tipo de beneficiario B
FC	Sistema de Previsión FONASA tipo de beneficiario C
FD	Sistema de Previsión FONASA tipo de beneficiario D
IPC	Ingreso Per Cápita
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
VRRF	Valor de Reducciones de Riesgos Fatales
VVE	Valor de la Vida Estadística
WTP	Disposición a Pagar, por sus siglas en inglés <i>“Willingness to Pay”</i>

Resumen Ejecutivo

El presente documento corresponde al Informe Final correspondiente al estudio “Nuevos Elementos para la Inclusión de las Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES” desarrollado por el equipo de profesionales de GreenLabUC para el Ministerio de Medio Ambiente.

A partir del año 1995 es legalmente necesaria la elaboración de AGIES dentro del proceso de elaboración de una normativa ambiental mientras que a partir del año 2010 el Departamento de Estudios de la CONAMA, actualmente el Departamento de Economía Ambiental (DEA) de la División de Estudios del MMA, es el responsable de la elaboración de los AGIES del mencionado proceso normativo.

Durante este periodo se han desarrollado una lista de normas relacionadas con la calidad del aire las cuales tienen asociados un correspondiente AGIES. Cada uno de los AGIES desarrollados a la fecha han empleado diferentes métodos de análisis y diferentes métodos para la valoración tanto de costos como beneficios por lo que durante el año 2010 y finalizando a principios del año 2011 se desarrolló el estudio “Guía Metodológica para la elaboración de AGIES para Instrumentos de Gestión de la Calidad del Aire”, encargado por el Ministerio de Medio Ambiente y elaborado por GreenLabUC, Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A. que tenía como objetivo principal establecer el marco metodológico para la elaboración de AGIES de políticas y regulaciones sobre el control de la contaminación atmosférica utilizando un Análisis Costo Beneficio (ACB) estandarizando así los supuestos utilizados para el desarrollo de análisis de este tipo.

Dada la importancia que este documento tendrá en las próximas normas que vendrán es que se hizo necesaria la obtención de información adicional que permita hacer un análisis distributivo detallado de los beneficios estimados, realizar una actualización y ajuste del documento en referencia y de los supuestos utilizados por este y la construcción de una aplicación computacional que permita la actualización periódica de los valores utilizados.

Para que el documento ya elaborado con su debida actualización (objetivo del presente estudio) sea utilizado de buena manera es que también se hizo imperante la necesidad de una capacitación a organismos gubernamentales para que los objetivos buscados en la elaboración de la guía sean logrados íntegramente.

El presente estudio busca entregar elementos que sean de utilidad para complementar y completar lo establecido en la Guía de Referencia. En particular, el presente estudio llegó a los siguientes resultados:

- ✓ Análisis Conceptual de la Valorización de Reducciones de Riesgos Fatales

El presente documento entrega un análisis conceptual de lo que significa la valoración de reducciones de riesgo fatal realizando un análisis microeconómico y describiendo los principales métodos utilizados para dicha valoración consiguiendo entregar un completo resumen del “estado del arte” en esta temática, entregando valores que han sido reportados según los diferentes métodos de valorización y realizando un barrido de cómo la experiencia internacional utiliza estos valores para evaluar proyectos sociales. El desarrollo de este componente busca abrir la discusión de qué valor debe utilizar y recomendar el gobierno al momento de evaluar proyectos que disminuyan el riesgo de mortalidad.

Como resultado de este análisis se recomienda la realización de dos estudios basados en muestras aleatorias representativas del universo de personas del país. Uno de los estudios debería valorar reducciones de riesgos de muerte por efectos de la calidad del aire y el otro estudio, reducciones de riesgos de muerte por accidentes de tránsito.

En cuanto a nuestra recomendación para adoptar un valor oficial del valor de las reducciones de riesgo fatal hasta tanto se hayan realizado estudios locales de envergadura, es calcular este valor según la siguiente fórmula.

$$VRR \approx \frac{CH}{\varepsilon_U^I}$$

Ello requiere contar con dos valores, el valor del capital humano (CH) y el valor de la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso. En base a criterio de experto, este valor a nivel país sería 0.4. Así el beneficio por evitar una fatalidad sería 2.5 veces el valor del capital humano. Con este criterio, se obtendría un VRRF de $3,133 \text{ UF} * 2.5 = 7,833 \text{ UF}$, donde el valor de 3.133 UF fue estimado por (Ministerio de Desarrollo Social 2011) o de $3,033 \text{ UF} * 2.5 = 7,583 \text{ UF}$, donde el valor de 3,033 UF fue calculado por el presente estudio.

- ✓ Análisis de los efectos en salud de los contaminantes PM_{2.5}, SO_x y NO_x y elaboración de modelo de daños marginales.

Luego de una exhaustiva revisión bibliográfica de los efectos en la salud causados por los contaminantes mencionados se establecen las funciones dosis respuesta que deben ser incorporadas al momento de evaluar los beneficios sociales generados por una disminución de las concentraciones ambientales de PM_{2.5}, SO_x y NO_x. Estas funciones dosis respuesta se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 0-1 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas - PM2.5

Tipo Efecto	Efecto	Causa	Grupo Edad	Métrica	Inc por 10 ug/m3 (IC 95%)			Fuente
Mortalidad Prematura	Mortalidad Prematura	CPM	>30	Anual	9.7%	(3.7%	16.2%)	Pope et al. (2004)
Acciones Medicas	Admisiones Hospitalarias	CLD	18-64	Media 24h	2.4%	(0.8%	4.0%)	Moolgavkar (2000)
			65+	Media 24h	1.2%	(-2.8%	5.4%)	Ito (2003)
		PNEU	65+	Media 24h	4.1%	(0.7%	7.5%)	Ito (2003)
		CVD	18-64	Media 24h	1.5%	(0.8%	2.3%)	Moolgavkar (2000)
			65+	Media 24h	1.6%	(0.9%	2.3%)	Moolgavkar (2003)
	ASTH	0-64	Media 24h	3.4%	(1.3%	5.5%)	Sheppard (2003)	
	Visitas Salas Emergencia	ASTH	0-17	Media 24h	18.0%	(8.8%	27.9%)	Norris et al. (1999)
BRO		0-17	Media 24h	4.5%	(0.2%	9.0%)	Dockery et al. (1989)	
Restricción Actividad	WLD		18-64	Media 24h	4.7%	(4.0%	5.4%)	Ostro (1987)
	RAD		18-64	Media 24h	4.9%	(4.3%	5.5%)	Ostro (1987)
	MRAD		18-64	Media 24h	7.7%	(6.2%	9.2%)	Ostro and Rothschild (1989)

$$\text{Nota: } \beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-2 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas - SO2 y NO2

Tipo Efecto	Efecto	Causa	Cont.	Grupo Edad	Métrica	Inc por 10 ppb (IC 95%)			Fuente
Acciones Medicas	HA	RSP	SO ₂	65+	Media 24h	0.8%	(-0.1%	1.7%)	Schwartz et al. (2003)
			NO ₂	65+	Media 24h	3.3%	(-0.1%	6.9%)	Fung et al. (2006)
	ERV	ASTH	SO ₂	0-14	Media 24h	5.1%	(-11.9%	25.4%)	Wilson et al. (2007)
			SO ₂	65+	Media 24h	11.6%	(-15.2%	46.9%)	Wilson et al. (2007)
			NO ₂	75+	Media 24h	14.5%	(3.1%	27.1%)	Villeneuve et al. (2007)
Restricción Actividad	EA	SLD	NO ₂	4-12	Media 24h	15.0%	(-6.5%	41.4%)	O'Connor et al. (2008)
	MRAD	Tos	NO ₂	7-14	Media 24h	17.0%	(-6.1%	45.8%)	Schwartz et al. (1994)

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Nota:

HA: Admisiones Hospitalarias

EA: Exacerbación del Asma

ERV: Visitas a Salas de Emergencia

Fuente: Elaboración Propia

En función de esta selección, del establecimiento de la valorización de cada uno de los efectos y la determinación de las tasas de incidencia base de estos es que se desarrolla un modelo computacional de cálculo del daño marginal según comuna y región el cual es entregado al Ministerio de Medio Ambiente para su uso en el desarrollo de los AGIES que se presenten en el futuro. Los resultados regionales de daño marginal se presentan en las siguientes tablas mientras que el resultado a nivel comunal es entregado en los archivos anexos al presente documento.

Tabla 0-3 Daño Marginal Contaminante PM_{2.5} según Región – Año 2012

	PM2.5 (Millones USD/[ug/m3])	
	Media	IC 95%
I Región - Tarapacá	1.9	[1.1 - 3.3]
II Región - Antofagasta	3.9	[2.3 - 6.7]
III Región - Atacama	1.4	[0.9 - 2.5]
IV Región - Coquimbo	4.3	[2.5 - 7.5]
V Región - Valparaíso	13.8	[7.9 - 24]
VI Región - O'Higgins	5.5	[3.1 - 9.5]
VII Región - Maule	6.6	[3.7 - 11.4]
VIII Región - Bio Bio	21.2	[12 - 37.1]
IX Región - Araucanía	5.4	[3.1 - 9.3]
X Región - de los Lagos	4.7	[2.7 - 8.2]
XI Región - Aysén	0.5	[0.3 - 0.9]
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	1.6	[0.9 - 2.8]
XIII Región - RM	45.7	[26.5 - 78.9]
XIV Región - de los Ríos	2.6	[1.5 - 4.5]
XV Región - Arica y Parinacota	1.1	[0.6 - 1.9]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 0-4 Daño Marginal Contaminantes SO₂ y NO₂ según Región – Año 2012

	SO ₂ (USD/ppbSO ₂)		NO ₂ (USD/ppbNO ₂)	
	Media	IC 95%	Media	IC 95%
I Región - Tarapacá	330	[18 - 643]	1,412	[236 - 2,588]
II Región - Antofagasta	1,135	[63 - 2,206]	4,848	[810 - 8,886]
III Región - Atacama	504	[28 - 981]	2,154	[360 - 3,949]
IV Región - Coquimbo	1,179	[66 - 2,293]	5,038	[841 - 9,235]
V Región - Valparaíso	5,261	[293 - 10,230]	22,475	[3,753 - 41,197]
VI Región - O'Higgins	1,774	[99 - 3,450]	7,580	[1,266 - 13,894]
VII Región - Maule	2,064	[115 - 4,014]	8,819	[1,473 - 16,165]
VIII Región - Bio Bio	7,439	[414 - 14,464]	31,778	[5,307 - 58,248]
IX Región - Araucanía	3,177	[177 - 6,178]	13,573	[2,267 - 24,878]
X Región - de los Lagos	1,720	[96 - 3,343]	7,346	[1,227 - 13,465]
XI Región - Aysén	332	[19 - 646]	1,420	[237 - 2,603]
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	444	[25 - 864]	1,898	[317 - 3,480]
XIII Región - RM	12,612	[702 - 24,522]	53,877	[8,997 - 98,756]
XIV Región - de los Ríos	1,240	[69 - 2,411]	5,296	[885 - 9,708]
XV Región - Arica y Parinacota	228	[13 - 443]	973	[163 - 1,784]

Fuente: Elaboración propia

✓ Análisis Distributivo

Otro elemento importante desarrollado en este documento se refiere al ejercicio realizado para incluir nuevos elementos en la distribución de beneficios generados a partir de una disminución de la calidad del aire. En específico, se buscó realizar un análisis distributivo según nivel socioeconómico (NSE) analizando el riesgo relativo (según NSE) asociado a los efectos generados por la contaminación atmosférica. Los resultados de este ejercicio lamentablemente no fueron satisfactorios ya que no se cumplió la hipótesis original de que a menor NSE el riesgo relativo debiera haber sido mayor.

Debido a esto último, se realizó una revisión bibliográfica de documentos que han generado resultados de coeficientes de riesgo unitario según nivel socioeconómico para intentar aplicar dichos resultados al presente estudio. El resultado tampoco fue satisfactorio ya que solo Cakmak Sabit, Dales Robert E., et al. (2006) reporta una tendencia entre el nivel de educación y el aumento de riesgo relativo de las admisiones hospitalarias por causas respiratorias producto del aumento de las concentraciones ambientales de O₃, SO₂ y NO₂. Este mismo documento, al analizar esta misma tendencia pero esta vez según el ingreso, no reporta ningún resultado concluyente. Todos los otros documentos revisados, no presentaron la tendencia esperada.

Debido a la falta de evidencia, no se recomienda aplicar un análisis distributivo de los beneficios asociados a una disminución de la contaminación atmosférica según nivel socioeconómico hasta que exista mayor evidencia empírica de que se cumple la relación que un nivel socioeconómico menor implica un nivel de riesgo mayor.

Esto insta a que se siga trabajando en el análisis distributivo de los beneficios generados por la disminución de la contaminación.

- ✓ Refinar metodología de cálculo de beneficios de Guía de Referencia.

Se realizaron una serie de modificaciones al cálculo elaborado en la Guía de Referencia entre los que se encuentran la eliminación de los doble conteos, la revisión de tasas de incidencia por grupo de edad específico de las funciones dosis respuesta utilizadas y la asignación de efectos a tipo de previsión y grupos de edad. Todos estos cambios están incorporados al modelo computacional de cálculo de daño marginal.

- ✓ Capacitación a funcionarios del Ministerio de Medio Ambiente

Se presentan los principales contenidos que se desarrollaron en la capacitación realizada durante los días 23, 24 y 25 de Noviembre 2011 junto con los resultados de la encuesta realizada a los participantes.

1. Introducción

EL Ministerio del Medio Ambiente (MMA), en virtud de lo establecido en la Ley N°19.300 y en el Decreto Supremo N°94/95, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, sobre los procedimientos y etapas para el establecimiento de normas y planes ambientales, está en la obligación de elaborar un estudio que analice el impacto económico y social de los instrumentos de gestión ambiental y de estímulo a acciones de mejoramiento ambiental (normas y permisos de emisión transables, inclusive) que podrían utilizarse para restablecer los niveles de calidad ambiental señalados por las normas vigentes. Dicho estudio debe presentarse junto con el proyecto definitivo de la norma respectiva, para apoyar la toma de decisiones en materia de su aprobación.

El Decreto Supremo 93, en su Artículo 15, estipula que una vez elaborado un anteproyecto de norma (norma de emisión, norma de calidad o planes de prevención y descontaminación) se deberá encargar un Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la o las normas contenidas en dicho anteproyecto. Dicho estudio deberá evaluar los costos y beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas y deberá contener los costos y beneficios para el o los emisores que deberán cumplir la norma y los costos y beneficios para el Estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento de la norma (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1995).

Según lo anterior, a partir del año 1995 es legalmente necesaria la elaboración de AGIES dentro del proceso de elaboración de una normativa ambiental. A partir del año 2010 el Departamento de Estudios de la CONAMA, actualmente el Departamento de Economía Ambiental (DEA) de la División de Estudios del MMA, es el responsable de la elaboración de los AGIES del mencionado proceso normativo.

La siguiente tabla lista todas las normas relacionadas con la calidad del aire las cuales tienen asociados un correspondiente AGIES.

Tabla 1-1 Listado de AGIES elaborados en Chile producto de un anteproyecto de norma

Tipo de Norma	Título	Año Publicación Norma	Método Análisis Costos y Beneficios
Calidad	Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP2,5	2011	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado incluyendo Salud, Materiales (solo RM) y Visibilidad (solo RM) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	Norma de Calidad Primaria de Aire para Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO2), Ozono (O3), Dióxido de Nitrógeno (NO2) y Partículas Totales en Suspensión (PTS)	2002	
	Norma de Calidad Primaria para Plomo en el Aire	2000	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado (Salud). Tipo: Análisis Costo Beneficio
Emisión	Revisión Norma de Emisión para Motores de Buses de Locomoción Colectiva de la Ciudad de Santiago	Aún no publicada	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado (Salud, Materiales, Visibilidad) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	Norma de Emisión para Termoeléctricas.	2011	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado (Salud), Cuantificado (Recursos Naturales), Identificado (Materiales y Visibilidad) Tipo: Análisis Costo Beneficio con ítems valorizados.
	Norma de Emisión para Artefactos de Uso residencial que combustonan con Leña y otros Combustibles de Biomasa	Aún no publicada	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado (Salud) Análisis Costo Beneficio
	Norma de Emisión de Material Particulado y Gases para Grupos Electrógenos en la Región Metropolitana	Aún no publicada	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizado (Salud, Materiales, Visibilidad) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	Norma de Emisión Incineración y Coincineración	2007	
	Normas de Emisión para Motores de Buses de Locomoción Colectiva de la Ciudad de Santiago	2002	
	Norma de Emisión para Motocicletas	2000	Costos: Valorizado Beneficios: Valorizados (Salud, Ruido, Congestión) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	Norma de Emisión de Hidrocarburos No Metánicos para Vehículos Livianos y Medianos	2000	Tipo: Valorizado Beneficios: Identificados (Salud, Materiales, Agricultura, Visibilidad) Tipo: Descripción de Costos y Beneficios
	Norma de Emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire	1999	Costos: Valorizados Beneficios: Cuantificados (Salud) Tipo: Descripción de Costos y Beneficios
PPDA / PDA	PPDA Región Metropolitana	2000 + Actualizaciones	Costos: Valorizados Beneficios: Valorizados (Salud) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	PPDA Chuquicamata	1993 + Actualizaciones	Costos: Valorizados Beneficios: Valorizados (Salud) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	PDA Tocopilla	2010	Costos: Valorizados

			Beneficios: Valorizados (Salud), Identificados (materiales, agricultura, turismo, diversidad ecosistemas) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	PDA María Helena y Pedro de Valdivia	1999 + Actualizaciones	
	PDA Potrerillos	1999	Costos: Valorizados Beneficios: Valorizados (Salud) Tipo: Análisis Costo Beneficio
	PDA Ventanas	1992	
	PDA Caletones	1998	
	PDA Temuco y Padre las Casas	2010	Costos: Valorizados Beneficios: Valorizados (Salud, Visibilidad) Tipo: Análisis Costo Beneficio

Fuente: Elaboración propia en base a SINIA

Cada uno de los AGIES listados en la tabla anterior empleó diferentes métodos de análisis y diferentes métodos para la valoración tanto de costos como beneficios por lo que durante el año 2010 y finalizando a principios del año 2011 se desarrolló el estudio “Guía Metodológica para la elaboración de AGIES para Instrumentos de Gestión de la Calidad del Aire”, encargado por el Ministerio de Medio Ambiente y elaborado por GreenLabUC, Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A. que tenía como objetivo principal establecer el marco metodológico para la elaboración de AGIES de políticas y regulaciones sobre el control de la contaminación atmosférica utilizando un Análisis Costo Beneficio (ACB) estandarizando así los supuestos utilizados para el desarrollo de análisis de este tipo.

Este estudio contó con dos aristas. La primera es la guía propiamente tal y la segunda es la selección y recomendación de valores a utilizar en un análisis costo beneficio para la elaboración de AGIES. Este documento es de real utilidad ya que servirá como documento base y comparativo para todos los AGIES realizados de ahora en adelante.

Dada la importancia que este documento tendrá en las próximas normas que vendrán es que se hace necesaria la obtención de información adicional que permita hacer un análisis distributivo detallado de los beneficios estimados, realizar una actualización y ajuste del documento en referencia y de los supuestos utilizados por este y la construcción de una aplicación computacional que permita la actualización periódica de los valores utilizados.

Para que el documento ya elaborado con su debida actualización (objetivo del presente estudio) sea utilizado de buena manera es que también se hizo imperante la necesidad de una capacitación a organismos gubernamentales para que los objetivos buscados en la elaboración de la guía sean logrados íntegramente.

El presente estudio busca entregar elementos que sean de utilidad para complementar y completar lo establecido en la Guía de Referencia. En específico, además de refinar la metodología de cálculo del daño marginal (Sección 6), de elaborar un modelo computacional

que realice este cálculo (Sección 4.6) y de incluir al análisis original los contaminantes SOx y NOx (Sección 4), este estudio entrega un análisis conceptual de lo que significa la valoración de reducciones de riesgo fatal realizando un análisis microeconómico y describiendo los principales métodos utilizados para dicha valoración consiguiendo entregar un completo resumen del “estado del arte” en esta temática, entregando valores que han sido reportados según los diferentes métodos de valorización y realizando un barrido de cómo la experiencia internacional utiliza estos valores para evaluar proyectos sociales. El desarrollo de este componente busca abrir la discusión de qué valor debe utilizar y recomendar el gobierno al momento de evaluar proyectos que disminuyan el riesgo de mortalidad.

Otro elemento importante desarrollado en este documento se refiere al ejercicio realizado para incluir nuevos elementos en la distribución de beneficios (ver Sección 5) generados a partir de una disminución de la calidad del aire. En específico, se buscó realizar un análisis distributivo según nivel socioeconómico (NSE) analizando el riesgo relativo (según NSE) asociado a los efectos generados por la contaminación atmosférica. Los resultados de este ejercicio lamentablemente no fueron satisfactorios ya que no se cumplió la hipótesis original de que a menor NSE el riesgo relativo debiera haber sido mayor. Esto insta a que se siga trabajando en el análisis distributivo de los beneficios generados por la disminución de la contaminación ya que diversos estudios si reportan que esta hipótesis se cumple.

Adicionalmente, en la Sección 7 se presenta los principales contenidos que se desarrollaron en la capacitación realizada durante los días 23, 24 y 25 de Noviembre 2011 junto con los resultados de la encuesta realizada a los participantes.

A continuación se presentan los objetivos específicos que buscó desarrollar el presente estudio para luego describir el desarrollo de cómo se abordó cada uno de ellos.

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo General

Facilitar la estimación y actualización de beneficios ambientales de políticas y regulaciones para el control de la contaminación atmosférica con énfasis en la distribución de beneficios en salud generados, mediante la aplicación y construcción de un modelo computacional y la capacitación a organismos gubernamentales.

2.2 Objetivos Específicos

Para realizar el objetivo general de este estudio se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos.

1. Desagregar el valor de la vida estadística (VVE) según tipo de costo (Prima por riesgo, Disutilidad, Costos Médicos, Capital Humano, entre otros).
2. Determinar los efectos en salud de los contaminantes SO_x y NO_x calculando el daño marginal por ppb y ug/m³ respectivamente, mediante la aplicación de un modelo computacional.
3. Realizar un análisis distributivo según grupo etario, cobertura de salud y/o nivel socioeconómico de los beneficios generados en salud por la reducción de la concentración de de PM_{2.5}, SO_x y NO_x.
4. Refinar la metodología de cálculo de beneficios del Estudio Marco Metodológico.
5. Contar con un modelo matemático y su aplicación computacional que estime el daño marginal (USD/[ug/m³]) por contaminante y entregue el análisis distributivo de los beneficios generados en la salud.
6. Capacitar a funcionarios del gobierno en la utilización de la Guía y los valores recomendados.

A continuación se presenta el desarrollo metodológico de cada uno de los objetivos descritos anteriormente.

3. Análisis Conceptual de la Valoración de Reducciones de Riesgos Fatales

Este capítulo se divide en tres grandes secciones. La primera sección incluye el análisis microeconómico de la valoración de reducciones de riesgo fatal Ex Ante estudiando distintos fenómenos que pueden afectar la disposición al pago por disminución de riesgos, las metodologías más relevantes que se han reportado en la literatura destinados a valorar las reducciones de riesgo y finalmente la práctica internacional en el uso de valores de reducción de riesgos fatales en evaluación social de proyectos. La segunda sección por su parte detalla tanto la metodología como los resultados del cálculo del capital humano (enfoque Ex Post) según sexo y edad. Este capítulo finaliza con las conclusiones y recomendaciones del presente estudio con respecto a la valorización de los beneficios asociados a proyectos que reducen riesgos de muerte.

3.1 Valoración de Reducciones de Riesgo Fatal - Enfoque Ex Ante

En esta sección se aborda el análisis económico de la valoración de los beneficios sociales por reducción de fatalidades que generan cambios regulatorios o proyectos. Esta sección contiene tres sub-secciones. La Sección 3.1.1 entrega el análisis microeconómico de la valoración de las reducciones de riesgos de muerte¹. Para ello plantearemos un modelo muy sencillo. Se supone la existencia de un individuo racional que intenta maximizar su utilidad. Este individuo está expuesto a un riesgo de muerte, pero cuenta con la posibilidad de comprar un bien que le ayude a mitigar dicho riesgo. Este bien, entre otras posibilidades, puede ser generado por un cambio regulatorio (por ej., mejor calidad del aire) o por algún proyecto (por ej., un mejor diseño vial). Este modelo permitirá deducir el nivel de inversión óptima en prevención de riesgos desde el punto de vista individual, el monto total a gastar y el gasto en el margen por una unidad adicional de reducción de riesgo². Una vez introducido el modelo simple de comportamiento, este mismo nos servirá de base para estudiar distintos fenómenos que pueden afectar la disposición al pago por disminución de riesgos. Este capítulo incluye además dos secciones relativas al método del capital humano; la primera de ellas describirá el método y la segunda demostrará porque este método no tiene sustento microeconómico alguno.

En la Sección 3.1.2, se presentarán los cinco métodos o técnicas más relevantes que se han reportado en la literatura destinados a valorar las reducciones de riesgo. Estos cinco métodos se sustentan en la teoría que se describe en la Sección 3.1.1. Una sub-sección de este acápite entregará un análisis de fortalezas y debilidades resumido de estos cinco métodos (ver Sección 3.1.2.6). La descripción que se hará de cada una de estas técnicas será en función de sus pros y

¹ A lo largo de este informe, se usarán de manera indistinta expresiones como reducción de riesgo de muerte, reducción de eventos de mortalidad, reducción de fatalidades o prevención de riesgos fatales o prevención de fatalidades.

² Cuando el análisis costo-beneficio social se basa en las preferencias individuales, se dice que el enfoque es no paternalista.

contras en relación a la valoración de riesgos de muerte; por lo tanto, las recomendaciones que surjan de esta sección no pueden ser extrapoladas a la valoración de otros bienes intangibles. Esta sección también describirá la valiosa experiencia local en valoración de reducciones de riesgo.

En la Sección 3.1.3, se expondrá la práctica internacional en el uso de valores de reducción de riesgos en evaluación social de proyectos. Lamentablemente, son pocos los países que tienen el hábito de publicar sus metodologías oficiales de valoración social, por lo que la selección de países se verá influenciado por este elemento.

3.1.1 Enfoque Microeconómico

Determinar el valor de una vida humana es simple: este valor es infinito y la explicación es muy sencilla. Si a cualquiera de nosotros nos hacen la siguiente pregunta: “¿a qué precio usted está dispuesto a ‘entregar’ su vida?”, la respuesta va a ser a precio “infinito”. Dado que la propia vida no tiene bien sustituto, la teoría económica predice que la disposición a aceptar compensación (DAC) será igual a infinito (Hanemann W.M. 1991). Afortunadamente, no es esta la pregunta que debemos responder cuando queremos determinar los beneficios de un proyecto o política pública que propicia una disminución de riesgos fatales. En este caso se trata de valorar proyectos que contribuirán a salvar vidas. Por ejemplo, un proyecto de mejora de la calidad del aire simplemente entrega como beneficio pequeñísimas reducciones de riesgo de un pequeño riesgo de muerte. En términos numéricos, este proyecto de mejor calidad del aire podría reducir un riesgo de muerte de $2 \cdot 10^{-6}$ a $1,5 \cdot 10^{-6}$, es decir una reducción de $5 \cdot 10^{-7}$. Por lo tanto, para estimar correctamente los efectos de un proyecto o política pública que contribuye a reducir el número de muertes prematuras, debe monetizarse el beneficio asociado a reducciones pequeñísimas de riesgos de muerte en toda la población.

Valoramos de manera implícita muy pequeñas reducciones de riesgo de muerte a menudo. Muchas veces decidimos comprar automóviles con mayor equipamiento de seguridad. Esto no lo hacemos porque creamos que de lo contrario vamos a fallecer en un accidente vial; compramos vehículos más seguros porque queremos reducir el riesgo de sufrir un accidente, o las consecuencias si este ocurre. Compramos también detectores de humo: no es que si no lo hiciéramos vayamos a morir por asfixia, simplemente queremos estar mejor prevenidos en caso que hubiese algún problema que pueda derivar en un incendio o en emanaciones tóxicas que comprometan nuestra seguridad.

La pregunta clave es cómo se determina la disposición al pago (DAP) por reducir un riesgo de muerte. Para ello, plantearemos un modelo microeconómico simple que permite obtener tal respuesta (Freeman A.M. III 2003) (Capítulo 10). Se supone un individuo racional cuya función de utilidad esperada (UE) es

$$UE = (1 - p(q)) U(I) \quad (1)$$

donde p es la probabilidad de morir, q es un parámetro (bien) relacionado con el riesgo de muerte e I es el ingreso de la persona. En relación a $p(q)$, se supone que $p'(q) = \frac{dp}{dq} < 0$ y

$\frac{d^2 p}{dq^2} > 0$. En cuanto al ingreso, este puede originarse por la actividad laboral, por rentas producidas por alguna inversión física o financiera, por pagos jubilatorios o por algún tipo de transferencia (subsídios). De esta manera, el análisis aplica a personas que disponen de ingresos aunque no trabajen (por ej. pensionados). En caso de fallecimiento, el nivel de utilidad es cero³.

3.1.1.1 Disposición al pago por prevención de riesgos fatales

Diferenciemos la Ecuación (1) totalmente con respecto a q e I , e igualemos a cero. De esta manera, obtendremos la DAP por una mejora marginal (o un aumento en el bien) q que generará una reducción marginal de p (o la disposición a aceptar compensación por un deterioro marginal de q):

$$\begin{aligned} -p'(q) U(I) dq + (1 - p_{mort}) U'(I) dI &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow TMS_{I,q} = \frac{dI}{dq} = \frac{p'(q)U(I)}{(1-p)U'(I)} \end{aligned} \quad (2)$$

La Ecuación (2) es la definición de tasa marginal de sustitución entre q e I ($TMS_{I,q}$) y nos entrega la DAP. Notar que en estricto rigor, la DAP es un valor negativo, puesto que se trata de la cantidad de dinero que debe restarse del ingreso de la persona para devolverlo a su nivel de utilidad original. Esta cantidad de dinero es la cifra que el individuo está dispuesto a pagar por un bien que reduce marginalmente su riesgo de muerte *ex ante*; es decir, se trata de una cantidad de dinero que una persona está dispuesta a pagar por reducir un riesgo.

En las próximas secciones de este capítulo se irán abordando diferentes fenómenos que afectan la disposición al pago, siempre desde la óptica de individuos racionales que maximizan su función de utilidad. Algunos de los fenómenos a estudiar suponen incluir algún elemento adicional a la Ecuación (1), lo que naturalmente vuelve más complejo el análisis. Siempre se hará el esfuerzo de introducir cada nuevo fenómeno de la manera más simple posible a fin de facilitar el seguimiento.

³ En algunos modelos, se supone que en caso de fallecimiento hay una utilidad asociada a dejar una herencia para los dependientes. Consideraremos esta posibilidad más adelante.

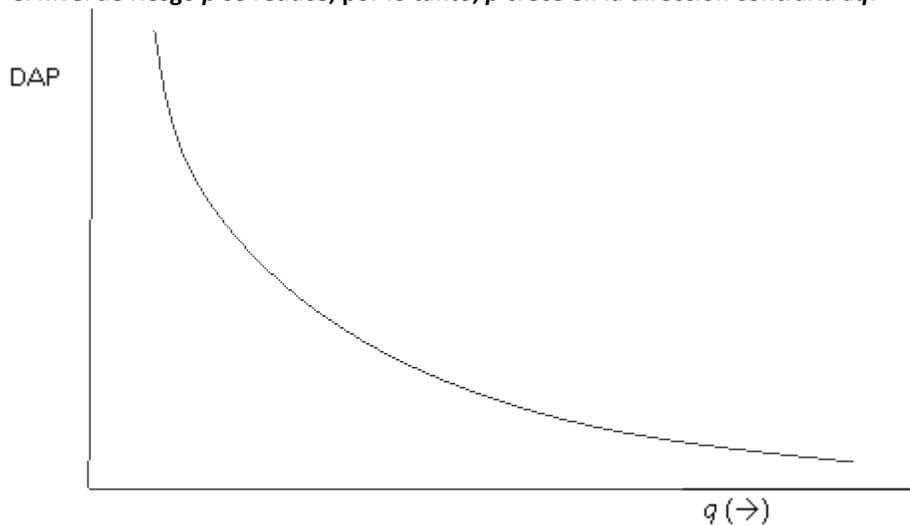
3.1.1.2 Nivel de riesgo y disposición al pago

A fin de estudiar como la DAP varía con el nivel de riesgo inicial se procede con un simple ejercicio de estática comparativa⁴. Para ello, se deriva la Ecuación (2) con respecto a q y se obtiene

$$\frac{dTMS_{I,q}}{dq} = \frac{d^2I}{dq^2} = \frac{\begin{bmatrix} + \cdot + \\ + \cdot + \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} + \cdot + \\ + \cdot + \end{bmatrix}} + \begin{bmatrix} - \cdot - \\ - \cdot - \end{bmatrix} + TMS_{I,q} \frac{p'(q)}{(1-p)} > 0 \tag{3}$$

Según la Ecuación (3), la DAP disminuye a medida que se dispone de más unidades del bien q (Figura 3-1). En otras palabras, si se está expuesto a un mayor nivel de riesgo, la disposición a pagar por reducirlo será mayor. Y si el nivel de riesgo enfrentado es ya considerado muy bajo, la disposición al pago por reducirlo aún más será cada vez menor. *Se verifica así una propiedad común a todos los bienes de consumo: que a mayor consumo su utilidad marginal disminuye y, por lo tanto, disminuye la disposición al pago por el bien.*

Figura 3-1 Variación en la DAP antes cambios en el nivel de riesgo base. Cuando la provisión de q se incrementa, el nivel de riesgo p se reduce; por lo tanto, p crece en la dirección contraria a q .



⁴ El análisis de estática comparativa consiste en estudiar cómo se modifica una solución óptima ante cambios en los parámetros que representan variables exógenas (Chiang, A. (1987). Métodos Fundamentales de Economía Matemática. McGraw-Hill, Naucalpan de Juarez. Capítulo 6). En el caso de la presente sección, el parámetro que se modifica es el nivel inicial de q que afecta de manera directa el nivel inicial de riesgo.

3.1.1.3 Ingreso y disposición al pago

¿Cómo afecta el ingreso a la DAP por mayor seguridad? Volviendo a la ecuación (2) y derivando con respecto al ingreso, obtenemos

$$\frac{dTMS_{I,q}}{dI} = \frac{d^2I}{dq dI} = \frac{p'(q)U'(I)}{(1-p)U'(I)} - \frac{p'(q)U(I)(1-p)U''(I)}{(1-p)U'(I)(1-p)U'(I)} = \frac{p'(q)}{(1-p)} \left(1 + \frac{\rho}{\varepsilon_U^I} \right) \quad (4)$$

donde $\rho = -I \frac{U''(I)}{U'(I)}$, es el coeficiente de aversión al riesgo relativo y ε_U^I es la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso. Por lo tanto, la elasticidad de la disposición al pago con respecto al ingreso es:

$$\frac{dTMS_{I,q}}{dI} \frac{I}{TMS_{I,q}} = \varepsilon_{TMS}^I = \frac{p'(q)}{(1-p)} \left(1 + \frac{\rho}{\varepsilon_U^I} \right) \frac{I}{\frac{p'(q)U(I)}{(1-p)U'(I)}} = (\varepsilon_U^I + \rho) \quad (5)$$

La suma $\varepsilon_U^I + \rho$, en la Ecuación (5) dependerá de la forma funcional que la utilidad adopte. Kaplow L. (2005) demuestra que para un conjunto relevantes de funciones de utilidad usadas en análisis empíricos, esta suma tiene que ser mayor o igual a uno. (Por ej., en el caso de una función de utilidad del tipo $U(I) = \alpha I^{\varepsilon_U^I}$, el coeficiente de aversión al riesgo relativo es $-\varepsilon_U^I + 1$; por lo tanto, ε_{TMS}^I es idénticamente igual a 1). Así, se puede concluir que la disposición al pago por mayor seguridad crecería con el ingreso al menos proporcionalmente. *Desafortunadamente, este resultado teórico no se verifica empíricamente*: Viscusi W.K. & Aldy J.E. (2003), en un estudio de meta-análisis, estiman la elasticidad de la DAP por mayor seguridad con respecto al ingreso en el rango de 0,5 a 0,6. Evans M.F. & Smith V.K. (2010) formulan algunas hipótesis que podrían en parte reconciliar resultados teóricos con resultados empíricos. En la sección siguiente veremos una hipótesis que según estos autores podría ser relevante.

3.1.1.4 Gastos comprometidos y disposición al pago

Esta sección se basa en Evans M.F. & Smith V.K. (2010) quienes se preguntan ¿cómo se ve afectada la disposición al pago por mayor seguridad cuando el consumidor tiene comprometidos ciertos gastos futuros? Este sería el caso, por ejemplo, del pago de una vivienda. En este caso, la función de utilidad adopta la forma $U(I-GC; GC)$, donde GC es gasto comprometido e I-GC ingreso de libre disponibilidad. Con esta nueva formulación de la función

de utilidad, el gasto comprometido genera utilidad directa, por un lado, y afecta al ingreso de libre disponibilidad, por otro lado, restando utilidad. La disposición al pago por mayor seguridad está dada por la siguiente ecuación, una adaptación de la Ecuación (2):

$$TMS_{I,q} = \frac{dI}{dq} = \frac{p'(q)U(I-GC;GC)}{(1-p)\frac{\partial U}{\partial(I-GC)}} \quad (6)$$

Si GC fue elegido de manera óptima, nada ha cambiado en relación a la Ecuación (2). Consideremos, por el contrario, el caso en que GC es mayor que el valor óptimo⁵. En esta situación, se tendrá que $\frac{\partial U}{\partial(GC)} < \frac{\partial U}{\partial(I-GC)}$. De esta manera, se verificarán simultáneamente

estas dos desigualdades: $\frac{\partial U^{n-opt}}{\partial(I-GC)} > \frac{\partial U^{opt}}{\partial(I-GC)}$ y $U^{n-opt} < U^{opt}$ (n_opt: situación no óptima;

opt: situación óptima). Al decrecer el valor del numerador y aumentar el valor del denominador, el valor de la Ecuación (6) será menor en la situación no óptima que en la situación óptima; *en otras palabras, los gastos comprometidos afectan negativamente la disponibilidad al pago por mayor seguridad*. Evans M.F. & Smith V.K. (2010) demuestran además que cuando existen gastos comprometidos, la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso disminuye.

3.1.1.5 Herencia y disposición al pago

¿Cómo se ve afectada la disposición al pago si hubiese una utilidad diferente a cero en caso que la persona falleciera? El típico ejemplo corresponde al deseo de dejar un legado o herencia en caso de muerte prematura a fin de brindar protección financiera a personas dependientes. En este caso, la función de utilidad esperada adquiere esta forma $UE = (1 - p(q)) U(I) + p(q) V(I)$. $V(I)$ es la utilidad *ex ante* que experimenta el individuo por el hecho de saber que en caso de muerte prematura, una herencia de monto I queda disponible para sus dependientes. La disposición al pago por mayor seguridad estará dada por la siguiente ecuación:

$$TMS_{I,q} = \frac{dI}{dq} = \frac{p'(q)[U(I) - V(I)]}{(1-p)U'(I) + pV'(I)} \quad (7)$$

⁵ El mercado de las viviendas sirve para ejemplificar. Una familia busca un determinado tipo de vivienda, que el mercado no ofrece. Las opciones consisten en buscar una vivienda 'inferior' o 'superior' a la deseada. Si la familia opta finalmente por una vivienda 'superior' y el costo de la misma está en el límite de sus posibilidades económicas, los gastos comprometidos serán superiores al que hubiese correspondido a la compra óptima.

En la Ecuación (7), el numerador se reduce y el denominador se incrementa en relación a la Ecuación (2). Por lo tanto, *la DAP por mayor seguridad disminuye si existe un deseo por dejar una herencia en caso de muerte prematura*. Este resultado era esperable: un mayor gasto en seguridad hace disminuir el monto del legado en caso de muerte prematura.

Por otro lado, derivando la ecuación (7) con respecto al ingreso, y multiplicando por $I / TMS_{I,q}$ se obtiene la siguiente elasticidad ingreso:

$$\frac{dTMS_{I,q}}{dI} \frac{I}{TMS_{I,q}} = I \frac{[U'(I) - V'(I)]}{[U(I) - V(I)]} - I \frac{(1-p)U''(I) - pV''(I)}{(1-p)U'(I) - pV'(I)} \quad (8)$$

La Ecuación (8) es poco transparente *a priori* al no ser teóricamente sencillo asumir una especificación paramétrica para la función V . La Ecuación (8) puede re-escribirse así:

$$\frac{dTMS_{I,q}}{dI} \frac{I}{TMS_{I,q}} = \frac{[\varepsilon_U^I U - \varepsilon_V^I V]}{[U - V]} - I \frac{(1-p)U''(I) - pV''(I)}{(1-p)U'(I) - pV'(I)} \quad (9)$$

Si $\varepsilon_U^I = \varepsilon_V^I$, tenemos una vez más la ecuación (5), interpretando ρ como la esperanza del coeficiente de aversión al riesgo relativo. A priori, no podemos hacer este supuesto, pero sí podría ser el caso que $\varepsilon_U^I > \frac{[\varepsilon_U^I U - \varepsilon_V^I V]}{[U - V]}$. Entonces, la Ecuación (9) arrojaría un menor valor que la Ecuación (5), pudiendo explicar en parte por qué en estudios empíricos se obtienen valores de la elasticidad ingreso de la disposición al pago por seguridad bastante menores a 1. Ello ocurriría si $\varepsilon_U^I < \varepsilon_V^I$: es decir, la utilidad marginal del ingreso en el caso de fallecimiento sería mayor que en el caso sin fallecimiento (Kaplow L. 2005).

3.1.1.6 Aversión al riesgo y disposición al pago

Eckhoudt L.R. & Hammitt J.K. (2004) demuestran que la relación entre aversión al riesgo y disposición al pago no es en absoluto transparente cuando se define aversión al riesgo como la prima de riesgo que una persona aversa al riesgo está dispuesta a pagar por reducir un riesgo (pasar de p_1 a p_0 , con $p_1 > p_0$) manteniendo constante su nivel de utilidad. Si se toma como referencia la Ecuación (1), la prima de riesgo κ se define como

$$(1 - p_0) U(I - \kappa) = (1 - p_1) U(I) \quad (10)$$

Resolviendo la Ecuación (10), se obtiene:

$$I - U^{-1}\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}U(I)\right) = \kappa > 0 \tag{11}$$

Si el individuo es averso al riesgo, U es una función cóncava; U^{-1} convexa y, en consecuencia, κ es positivo. La Ecuación (11) aplica para cualquier magnitud de reducción de riesgo, sea una reducción marginal o no.

A fin de facilitar el análisis, supongamos una función del estilo $U(I) = \alpha I^\beta$ ($\alpha > 0$ y $\beta \in (0; 1]$), donde a menor valor de β , más cóncava es la función. La ecuación en (11) se reduce a

$$\left(1 - \left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right) I = \kappa. \tag{6}$$

Derivando el valor de κ con respecto a β obtenemos:

$$\frac{d\kappa}{d\beta} = I \left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}} \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right) \frac{1}{\beta^2} < 0 \tag{12}$$

En este caso, si un individuo es menos averso al riesgo (su valor de β es mayor), la prima de riesgo que pagará por reducir su riesgo de muerte de p_1 a p_0 será menor.

El resultado del párrafo anterior es generalizable a familias de funciones de utilidad donde la mayor aversión al riesgo se define mediante una transformación $G(U(I))$, donde G es una función creciente y cóncava (Varian 1992, Capítulo 11). En este caso, la función de utilidad G corresponde a un individuo que es globalmente más averso al riesgo. Sin embargo, la extensión de este resultado cuando se quiere comparar el efecto de la aversión al riesgo sobre la DAP para individuos cuyas funciones de utilidad no se pueden expresar como funciones cóncavas unas de otras, no aplica. Y más complejo se vuelve el análisis si en lugar de despejar κ en la Ecuación (10), lo hiciéramos en la siguiente ecuación:

$$(1-p_0)U(I-\kappa) + p_0V(I-\kappa) = (1-p_1)U(I) + p_1V(I) \tag{13}$$

⁶ Para $p_1 = p_0 + dp$, con $dp \rightarrow 0$, una expansión de Taylor del término $\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}}$ desde p_0 arroja

$$\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{1-p_0}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{1-p_0}{1-p_0}\right)^{\frac{1}{\beta}} \frac{dp}{1-p_0} = 1 - \frac{dp}{\beta(1-p_0)}$$

Por lo tanto $\frac{dp}{\beta(1-p_0)} I = \kappa$. Este valor coincide con la DAP por disminuir dp , calculado a partir de la ecuación **Error! Reference source not found.** si $U(I) = \alpha I^\beta$ ($\alpha > 0$ y $\beta \in (0; 1]$).

Referimos al lector al estudio de Eeckhoudt L.R. & Hammitt J.K. (2004) para profundizar en el tema. Estos autores muestran ejemplos en donde la mayor aversión al riesgo no genera mayores valores de κ cuando se resuelve la Ecuación (13).

3.1.1.7 Percepción del riesgo y disposición al pago

El modelo desarrollado hasta ahora trata a todos los riesgos como si fueran igualmente percibidos. Si hubiese Z riesgos de muerte y cada riesgo fuese igualmente percibido, tendríamos $p = \sum_{z=1}^Z p_z$. De esta forma, la DAP por reducir marginalmente cualquiera de los riesgos a los que se está expuesto sería la misma⁷. Sin embargo, esto no es cierto (Jones Lee M., Loomes G. et al. 1995, Bronfman N. & Cifuentes L. 2003). La percepción de riesgos diferentes es diferente y ello se debe a varios factores:

- ✓ Si el riesgo es aceptado de manera *voluntaria* o no: al conducir por una ruta un conductor acepta voluntariamente el nivel de riesgo; sin embargo, no se acepta de manera voluntaria el riesgo de muerte asociado a la contaminación atmosférica,
- ✓ Si el riesgo se halla bajo *control* del individuo o no: un conductor tiene control sobre el riesgo de accidente vial dependiendo de la precaución con que conduce; un pasajero no controla, sin embargo, el riesgo de accidente en un metro, tren o avión como tampoco controla una persona el nivel de contaminación en el área metropolitana en que vive,
- ✓ Si el riesgo es *responsabilidad* del individuo o no: un conductor probablemente acepte que tiene una responsabilidad importante en reducir un riesgo de accidente vial con su vehículo, no así en el caso de reducir un riesgo de accidente en una planta nuclear,
- ✓ El efecto escala relacionado con que el riesgo sea *grupala* o no: un accidente en una carretera afecta a unas pocas personas, mientras que un accidente de avión puede involucrar muertes en el orden de cientos,
- ✓ La edad y el género hace que ciertas personas sean más susceptibles de sufrir ciertos riesgos,
- ✓ El beneficio personal en *asumir* un riesgo: hay personas que realizan deportes de alto riesgo por el placer que les brinda la actividad.

Dado que todos estos factores tienen un impacto en la percepción del riesgo, la valoración de reducciones de diferentes riesgos debería variar. Formalmente, se tiene $p = \sum_{z=1}^Z \pi_z(p_z)$, donde π_z es una función que transforma riesgos objetivos en riesgos subjetivos. *En este caso, el lector*

⁷ Esta conclusión es válida si el costo de mitigar cada uno de los riesgos es el mismo. Si cada riesgo z tiene asociado un bien q_z que lo mitiga, ciertos riesgos serían reducidos más que otros, dependiendo de las derivadas primera y segunda de cada p_z respecto a q_z y de los precios de cada bien q_z .

fácilmente puede darse cuenta que una disminución marginal de uno cualquiera de los Z riesgos no será valorada igual que otro riesgo Z cualquiera.

A modo de ilustración, reportamos una síntesis del estudio de (Jones Lee M., Loomes G. et al. 1995) destinado a obtener la disposición al pago por reducción de riesgos de accidente en el Metro de Londres: el resultado fue que dicha disposición al pago superaba a la disposición al pago por idéntica reducción en el riesgo de muerte en carreteras. Los autores esgrimieron como razones el hecho que, en el caso de la seguridad en subterráneos, a) las personas consideraron que el riesgo no estaba bajo su control, b) no lo concibieron como una responsabilidad propia y c) en algunos casos, el miedo se potenciaba por que el viaje se desarrolla bajo tierra. Sin embargo, no se detectó que hubiese un efecto escala relacionado con el número de víctimas fatales que pudiesen ocurrir en un accidente de subterráneo.

En evaluación social de proyectos, se debe valorar proyectos que buscan mitigar diversos riesgos a la salud: riesgos de por calidad del aire, riesgos de accidentes de transporte, riesgos de seguridad ciudadana, riesgos por ocurrencia de desastres naturales, etc. El resultado del párrafo anterior deja abierto el siguiente debate en materia de políticas públicas: ¿en evaluación social de proyectos debe usarse un valor único por prevención de fatalidades o debe usarse valores adaptados al proyecto específico según el riesgo que se quiere prevenir?

3.1.1.8 Disposición al pago por personas dependientes

Mediante el método de la disposición al pago, se puede obtener la valoración que las personas con ingresos hacen por la seguridad de terceras personas que dependen económicamente de ellos. Supongamos la siguiente función de utilidad:

$$UE = (1 - p(q))U(I; 1 - \pi(z)) + p(q)V(I; 1 - \pi(z)) \quad (14)$$

En la Ecuación (14), π es un riesgo que afecta la salud de un dependiente (por ejemplo, un hijo). En esta formulación, la seguridad de la persona dependiente es un argumento de la función de utilidad esperada; en otras palabras, saber que la seguridad de la persona dependiente se incrementa entrega mayor utilidad. Además, se supone que si a un padre le preocupa la salud de su hijo, también entonces estará interesado en dejar una herencia en caso de muerte prematura. La salud de su hijo se protege mediante la compra de un bien z . De esta manera, la disposición al pago por reducir riesgos de salud de dependientes estaría dada por la siguiente expresión:

$$DAP(\text{persona_dependiente}) = \frac{dI}{dz} = \frac{(1-p)\frac{\partial U}{\partial z} + p(q)\frac{\partial V}{\partial z}}{(1-p)U' + pV'} \quad (15)$$

El numerador de la Ecuación (15) es la utilidad marginal esperada ante un incremento en la seguridad de una persona dependiente. Si esta utilidad marginal fuese mayor que $p'(q)[U - V]$, se estará dispuesto a pagar más por la seguridad de los dependientes que por la propia seguridad. *En el caso de la DAP de los padres por reducir riesgos de muerte de sus hijos, la evidencia empírica disponible sugiere que esta DAP puede llegar a superar la DAP por la propia seguridad hasta por un factor de dos (Hammit J.K. & K. Haninger 2010).*

3.1.1.9 El valor de las reducciones de riesgo fatal

El valor de las reducciones de riesgo fatal (VRRF) o valor de la vida estadística es el valor que se asocia a un bien público que en el margen evita una muerte estadística. Un bien público se caracteriza por la no-rivalidad en el consumo; en otras palabras, este bien es consumido de manera simultánea por un gran número de personas. Como ejemplo de bien público que reduce riesgos de muerte podemos mencionar un cambio regulatorio que mejore los índices de calidad del aire o un proyecto de seguridad vial que afecta a una sección de vía. Si el proyecto asociado a este bien público se concreta, y beneficia a una población grande, se habrán prevenido algunos eventos de mortalidad prematura, pero nunca sabremos de qué individuo se evitó dicho evento. Cuando no puede determinarse la muerte de qué persona se evitó, decimos que se salvó una 'vida estadística' o se evitó una "muerte estadística", una vida a la que no se le puede colocar nombre y apellido⁸. Si bien 'valor de la vida estadística' no significa colocarle un precio a la vida, sino por el contrario a pequeñas reducciones de riesgo, en este documento preferiremos el término valor de las reducciones de riesgo fatal. Este término es más preciso y, además, evita la posibilidad de erróneas interpretaciones como sucede con el término alternativo.

El VRRF se define mediante la siguiente ecuación (Jones Lee M. 1994):

$$VRRF = -\sum_n TMS_{I,q}|_n = -\sum_n \frac{dI}{dq}|_n = -\sum_n \frac{p'(q)U(I)}{(1-p)U'(I)}|_n ; \text{ donde } -\sum_n p'(q) = 1 \quad (16)$$

donde n indexa a las personas en una población de N personas afectadas por el riesgo fatal. *La Ecuación (16) muestra la naturaleza de bien público del bien q , puesto que su valoración se obtiene como la suma de las DAPs de todas las personas afectadas por el riesgo.* Notar que se

⁸ El emblemático caso del rescate de los 33 mineros atrapados durante 66 días en la mina San José, Tercera Región, Chile en el año 2010, sirve para ilustrar este concepto. En este caso, se rescató a 33 personas perfectamente individualizadas. Si no se hubiera hecho nada, estas personas habrían muerto con total certeza. No se trataba entonces de salvar 33 vidas estadísticas, sino de salvar 33 personas. Esta es una diferencia fundamental.

ha multiplicado por -1 para hacer la expresión positiva. Si $p'(q)$ adoptase el mismo valor para todas las personas y q evita una muerte estadística en el margen ($p'(q)=1/N$), el VRRF se reduciría entonces a la siguiente ecuación:

$$VRRF = \frac{1}{N} \sum_n \frac{U(I)}{(1-p)U'(I)} \quad (17)$$

3.1.1.10 El valor del capital humano - valoración *ex post*

Un concepto alternativo que suele utilizarse para determinar el valor económico de prevenir una fatalidad consiste en calcular los ingresos que una persona deja de generar por su muerte prematura. Este método recibe el nombre de capital humano (CH). *Se trata de un valor basado en el concepto de cuentas nacionales, donde el valor de evitar una fatalidad se calcula como la pérdida de valor agregado que dicha fatalidad ocasiona en la economía.* Los sistemas de cálculo de cuentas nacionales se inspiran en modelos macroeconómicos de tradición keynesiana. Estos modelos son agregados y no guardan relación alguna con los criterios microeconómicos expuestos en este capítulo en secciones anteriores. *El método del capital humano carece de sustento microeconómico, puesto que ignora las preferencias de individuos racionales por mayor seguridad⁹.*

La fórmula para el cálculo del capital humano es la siguiente:

$$CH = \sum_{t=0}^T \frac{I_t p_t e_t}{(1+r)^t} \quad (18)$$

donde I se refiere al ingreso salarial personal para el año t , p_t es la probabilidad de estar vivo en el año t , e_t es la probabilidad de estar empleado en el periodo t , y r es la tasa social de descuento. En la Sección 3.2 se encuentra el detalle de la metodología utilizada y resultados del cálculo del capital humano para Chile.

Aparte de la limitación metodológica ya señalada, el método del CH no permite obtener un valor por disminuciones en los riesgos de fatalidad para personas que no poseen ingresos, ya sea se trate de niños, personas con incapacidad laboral o pensionados. Por el contrario, mediante la aplicación del método de la disposición al pago es sencillo obtener una medida de

⁹ Utilizar valores basados en criterios de contabilidad nacional se opone al enfoque no paternalista que sostiene que la medida de valor de los bienes está dada a partir de las preferencias individuales. El desarrollo de la economía del bienestar, como rama de la economía, se basa en el supuesto de un enfoque no paternalista (Samuelson P. (1947). *Foundation of Economic Analysis*. Atheneum 80, New York.)

los beneficios que la mayor seguridad entrega a estas personas. Razones éticas, por lo tanto, también favorecen el uso del método de la disposición al pago por sobre el capital humano (Freeman A.M. III 2003).

3.1.1.11 Disposición al pago, valor de las reducciones de riesgo fatal y el valor del capital humano

Dividamos la Ecuación (2) por la disminución en el riesgo de muerte generada por una unidad adicional de consumo del bien q :

$$TMS_{I,q} \frac{1}{p'(q)} = \frac{dI}{dq} \frac{1}{p'(q)} = \frac{U(I)}{(1-p)U'(I)} \tag{19}$$

La Ecuación (19) entrega el monto de dinero que pagaría una persona por reducir el riesgo de muerte a cero si pudiese aplicarse una relación lineal a la disposición al pago; en la literatura este valor suele recibir el nombre de ‘valor implícito de la vida’. Supongamos una persona que está dispuesta a pagar CLP 15.000 por la compra de un bien que reduce su riesgo muerte en 1 en diez mil. Si a esta persona se le ofrece reducir su riesgo de muerte a cero, haciendo una expansión lineal de su disposición al pago, se obtendría el siguiente valor implícito por la vida:

$$\begin{matrix} 1 / 10.000 & \text{-----} & \text{CLP } 15.000 \\ 1 & \text{-----} & \text{CLP } \frac{1}{1/10.000} \times 15.000 = \text{CLP } 10.000 \times 15.000 = \text{CLP } 150.000.000 \end{matrix}$$

Al hablar de un valor implícito por la vida (VIV), debe recordarse que se está haciendo un ejercicio hipotético y debe ser entendido como tal. El VIV puede superar varias veces el ingreso de la persona y, por lo tanto, sería imposible exigir su pago. De hecho, si una persona fuese amenazada de muerte, la máxima cantidad de dinero que podrían ofrecer sería su ingreso total. Habiendo hecho esta aclaración comparemos el valor implícito de la vida con el ingreso. A partir de la Ecuación (19) podemos arribar a la siguiente expresión:

$$TMS_{I,q} \frac{1}{p'(q)} = \frac{U(I)}{(1-p)U'(I)} \approx \frac{I}{U'(I) \frac{\ddot{I}}{U(I)}} = \frac{I}{\varepsilon_U^I} \tag{20}$$

La relación entre el valor implícito por la vida y el ingreso será la siguiente

$$TMS_{I,q} \frac{1}{p'(q)} \approx \frac{I}{\varepsilon_U^I} \geq I \Leftrightarrow \varepsilon_U^I \leq 1 \quad (21)$$

La relación depende de manera crucial del valor que adopta ε_U^I . La evidencia empírica, correspondiente a países desarrollados, sugiere que este valor es bastante menor a uno, siendo plausible considerar valores entre 0,1 y 0,2. Así, el valor implícito por la vida podría llegar a ser entre cinco y diez veces el valor del ingreso total disponible del individuo. En un contexto estático como el seguido por nosotros, el ingreso total es interpretado como el valor del capital humano.

Las Ecuaciones (17), (20) y (21) nos permiten vincular los conceptos de valor de las reducciones de riesgo fatal, valor implícito por la vida y capital humano. Estas ecuaciones nos dicen que el valor de las reducciones de riesgo fatal es un promedio de valores implícitos por la vida. Por lo tanto, el VRRF sería igual al monto del capital humano solo si $\varepsilon_U^I = 1$ (Ecuación (21)). *Dado que la evidencia empírica es abrumadoramente contraria a este supuesto, el valor de la vida estadística ha de ser entonces superior al valor del capital humano, pudiendo llegar a ser varias veces superior.*

3.1.1.12 Modelos de ciclo de vida y el valor de las reducciones de riesgo fatal

El análisis realizado en las secciones anteriores se basa en el uso de modelos estáticos; es decir, modelos atemporales en los que el tiempo no transcurre. Los modelos de ciclo de vida, por el contrario, estudian el comportamiento del individuo considerando el transcurso del tiempo. En tal sentido, las decisiones de consumo, ahorro e ingreso velan por maximizar la utilidad a lo largo del ciclo de vida.

Las ventajas del uso de modelos de ciclo de vida tienen un costo asociado que es su mayor complejidad matemática: se requiere el uso de técnicas de análisis funcional (Chiang 1992). Por esta razón, la gran mayoría de los análisis teóricos sobre disposición al pago por reducciones de riesgo se basan en el uso de modelos estáticos. Los modelos de ciclo de vida se originan en Yaari M. (1965). En este trabajo pionero, se analiza la planificación del consumo de un consumidor racional a lo largo de su ciclo de vida, poniendo énfasis en que el consumidor es consciente de su riesgo de muerte; por lo tanto, si se ahorra en exceso se corre el riesgo de sacrificar consumo presente sin la certeza de un mayor consumo futuro. Yaari M. (1965) consideró cuatro escenarios posibles para la aplicación de los modelos de ciclo de vida, que se generan a partir de las combinaciones posibles entre los siguientes dos elementos: existencia o no de mercados de capitales perfectos y necesidad o no de disponer de una herencia a lo largo del ciclo de vida. Este último elemento tiene un significado especial para el análisis sobre valoración de reducciones de riesgo: una persona que tiene dependientes a su cargo posee un fuerte motivo para dejar a su familia (parcialmente) cubierta en caso de muerte prematura, tal

como se vio en la sección 3.1.1.5. Como la posibilidad de dejar una herencia o legado a sus dependientes es una alternativa en tal sentido, es importante poder modelar este comportamiento.

Los modelos de ciclo de vida han sido en algunas ocasiones utilizados para el estudio del valor de las reducciones de riesgo fatal en un contexto dinámico. Algunos de los trabajos más relevantes al respecto son Arthur (1981); Shepard & Zeckhauser (1984); Cropper & Sussman (1988); Cropper & Sussman (1990); Rosen (1988) y Johannesson & Johansson (1996). Rizzi (2001) resume parte de esta literatura y extiende la modelación a fin de considerar el impacto de la necesidad de dejar un legado sobre la disposición al pago por mayor seguridad. Basándonos en Rizzi (2001), destacaremos los elementos más salientes de los modelos de ciclo de vida y el valor de las reducciones de riesgo fatal.

El modelo de ciclo de vida supone un perfil de ingresos y una probabilidad de sobrevivida a lo largo del ciclo de vida. El perfil de ingreso puede tener una distribución unimodal o bimodal. Como estos modelos se aplican a personas en edad laboral, la probabilidad de sobrevivencia es monótonamente decreciente en el tiempo¹⁰. También se requiere suponer una tasa de descuento temporal a fin de distribuir el consumo en el tiempo. Una alta tasa de descuento temporal significa una alta valoración del consumo presente en relación al consumo futuro y una baja tasa de descuento temporal, una mayor valoración relativa por el consumo futuro. Estos modelos también consideran como dato la tasa de interés de mercado que permite que los ahorros crezcan en el tiempo. Dependiendo de la curvatura de la función de utilidad y de la tasa personal de descuento temporal se tendrá una evolución en el tiempo del consumo y del ahorro.

La Ecuación (2) tiene su expresión análoga en el modelo de ciclo de vida, pero su interpretación es más sutil. Se trata de la disposición al pago por una disminución de riesgo de fatalidad en el período $[t, t+\varepsilon]$, donde ε es un valor muy pequeño. En otras palabras, se trata de una reducción en el riesgo de muerte que ocurre en un muy pequeño intervalo de tiempo cuyo momento inicial es t . Un ejemplo clásico en tal sentido sería la reducción de riesgo que afecta a una persona durante la ocurrencia de un viaje en automóvil. Sin embargo, esta reducción afecta las probabilidades de supervivencia a futuro. La Tabla 3-1 ilustra el concepto con un ejemplo ficticio. Suponemos que los años de vida son 11, cada año i tiene asociado una probabilidad de muerte p_i ¹¹, que ocurre al principio del período¹². La probabilidad de estar vivo al cumplir i

¹⁰ En los primeros años de vida, la probabilidad de sobrevivida crece con la edad.

¹¹ Esta probabilidad recibe el nombre de función de 'hazard'; la probabilidad de fallecer en el período $[t, t+\varepsilon]$ condicionado en estar vivo en el período t . Cuando se trabaja con tiempo discreto, $\varepsilon = 1$.

¹² Se supone que el mismo día que se cumple el año opera una variable aleatoria Bernoulli. Esta variable tiene una probabilidad de éxito $(1-p_i)$ y una probabilidad de fracaso p_i . Si la variable resulta ser éxito, la persona vive el año completo; en caso contrario, la persona fallece. De esta manera, quienes más viven fallecen el día que cumplen 11 años.

años, P_i , se define como $P_i = \prod_{j=0}^i (1 - p_j)$. Supongamos un proyecto que afecta la probabilidad

de muerte solo en el año 5. Si bien el proyecto afecta la probabilidad de muerte en un solo año, su efecto es duradero: la probabilidad de sobrevivida se ve incrementada a lo largo del resto del ciclo de vida a partir del mismo año 5. Con este proyecto, la expectativa de vida de una persona que tiene 4 años de edad se incrementa de 8,9275 años a 8,9532 años. Por el contrario, si la reducción en el riesgo de muerte fuese de carácter permanente (desde t hasta el final del ciclo de vida), la ecuación que entrega la disposición al pago por dicha reducción se vuelve más compleja. Tal análisis se puede ver en detalle en Arthur (1981).

La Ecuación (2) en su versión dinámica entrega valores diferentes en cada instante del tiempo t . Los modelos de ciclo de vida también permiten computar la evolución del valor del capital humano, del consumo y del ahorro a lo largo del tiempo. Se puede entonces comparar la evolución del valor implícito por la vida (tasa de sustitución marginal entre ingreso y riesgo) con el valor del capital humano a lo largo del ciclo de vida.

Tabla 3-1 Ejemplo ficticio sobre el impacto de un proyecto que reduce el riesgo de muerte en un instante de tiempo sobre la probabilidad de seguir cumpliendo años hacia el futuro

Edad i	Probabilidad de muerte según edad s/proyecto	Probabilidad de estar vivo al cumplir i años s/proyecto	Probabilidad de muerte según edad c/proyecto*	Probabilidad de estar vivo al cumplir i años c/proyecto
1	0	1	0	1
2	0,01	0,99	0,01	0,99
3	0,02	0,9702	0,02	0,9702
4	0,03	0,9411	0,03	0,9411
5	0,04	0,9035	0,035	0,9082
6	0,05	0,8583	0,05	0,8627
7	0,06	0,8068	0,06	0,8110
8	0,07	0,7503	0,07	0,7542
9	0,08	0,6903	0,08	0,6939
10	0,09	0,6282	0,09	0,6314
11	1	0	1	0

*Se supone un proyecto que hace disminuir la probabilidad de muerte en el año 5 de vida.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta un conjunto de resultados obtenidos por Rizzi (2001) mediante simulación bajo el supuesto de una reducción en el riesgo de muerte que ocurre en el tiempo $[t, t+\varepsilon]$, para cada momento t a lo largo del ciclo de vida. Las simulaciones consideraron como individuo representativo a una persona de género masculino, que vive en la ciudad de Santiago con educación universitaria. Los datos necesarios para desarrollar la simulación consisten en el

flujo de ingreso a lo largo del ciclo de vida y las probabilidades actuariales de muerte para una persona de dichas características. El primer dato fue obtenido de la Encuesta de Ingreso de Hogares realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (1997). Dicho valor fue ajustado por el perfil de ingreso v/s edad de un santiaguino promedio. Los riesgos de muerte fueron los mismos que utilizaron Escobari (2000) y Prieto (2000) en sus experimentos de valoración contingente. La función de utilidad U , en función del consumo c , adoptada es $U = c^b$, donde b es un parámetro que se mueve entre 0 y 1 y resulta ser igual a ε_v^I en la ecuación (21).

Rizzi (2001) consideró cuatro casos posibles, según existan o no mercados de capitales perfectos y dependiendo de si el individuo desea dejar un legado o no en caso de muerte prematura (Tabla 3-2). La existencia de mercados de capitales perfectos hace posible un consumo presente mayor al ingreso presente en los primeros años del ciclo de vida si es que en el futuro existen expectativas de mayores ingresos. La ausencia de mercados de capitales perfectos hace que el consumo presente no pueda exceder al ingreso presente al comienzo del ciclo de vida. La necesidad de dejar un legado en caso de muerte prematura está íntimamente ligada a la existencia de un estado de bienestar. Cuando existe un estado de bienestar, servicios básicos como la salud y la educación están garantizados y en tal caso una persona puede ver notablemente disminuido su interés por dejar una herencia en caso de muerte prematura.

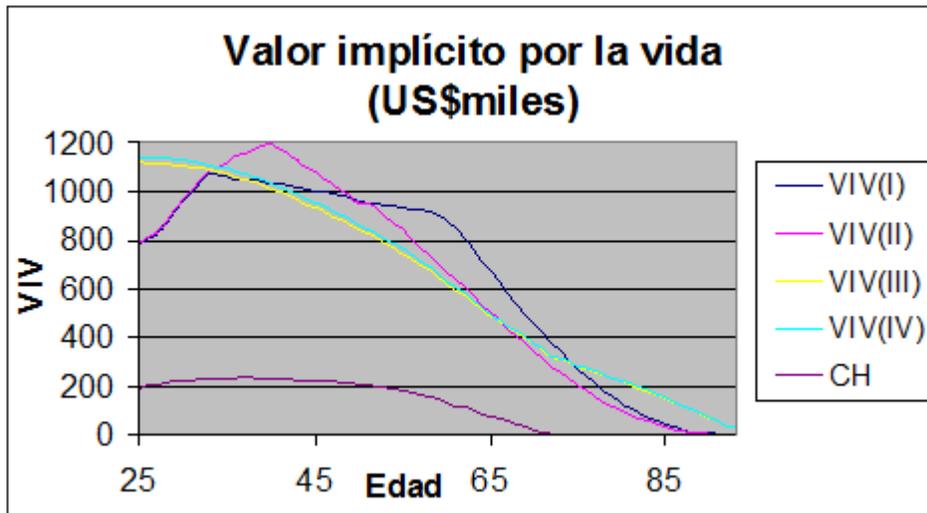
Tabla 3-2 Casos de Estudio

	Legado por muerte prematura	Ausencia de legado por muerte prematura
Sin mercados de capitales perfectos	Caso I	Caso II
Con mercados de capitales perfectos	Caso III	Caso IV

Fuente: Rizzi (2001)

Las simulaciones de Rizzi (2001) consideraron diferentes tasas de descuento temporal, diferentes tasas de interés de mercado y diferentes parámetros de la función de utilidad. Dado la similitud de resultados a grandes rasgos, presentaremos el siguiente escenario: tasa de interés de mercado = tasa de descuento temporal = 0,04 y $b = 0,3$. La Figura 3-2 muestra la trayectoria del valor implícito por la vida (VIV) en los cuatro casos descritos en la Tabla 3-2.

Figura 3-2 Valor implícito de la vida a lo largo del ciclo de vida en cuatro escenarios



Nota: Escenarios III y IV suponen la existencia de mercado de capitales; no así en los caso I y II. Los escenarios I y III suponen la necesidad de dejar un legado; no así en los caso II y IV.

Fuente: Rizzi (2001)

En ausencia de mercados de capitales perfectos, el VIV fue casi igual en los casos I y II hasta la edad de 33 años, edad en que la restricción de ingresos deja de ser limitante. A partir de ese instante, el VIV resultó no sólo mayor para el caso II, sino que dicho valor siguió aumentando por algunos años, mientras que en el caso I comenzó a disminuir en el mismo momento en que la restricción de consumo dejó de ser efectiva.

En el caso II, el VIV creció hasta los 40 años, edad a partir de la cual comenzó a caer a una tasa mayor que en el caso I. Así, a partir de los 50 años de edad el VIV resultó superior para el caso I hasta el final del ciclo de vida. Respecto al valor del VIV, se observaron guarismos superiores al millón de dólares hasta la edad de 45 y 48 años para los casos I y II respectivamente. Luego se mantuvo por encima del medio millón de dólares hasta los 68 y 65 años de edad respectivamente, para finalmente caer hasta llegar a cero. A modo de generalización, el VIV evoluciona a lo largo del ciclo de vida en forma de U invertida.

Cuando se incorporaron al análisis los mercados de capitales perfectos (caso III y IV), ocurrió el siguiente fenómeno: el VIV disminuyó sostenidamente desde los 25 años en adelante tanto para el caso III como para el caso IV, siendo en ambos casos los valores muy similares. A los 25 años de edad, el comienzo del ciclo de vida, el VIV resultó superior, en ambos casos, respecto al máximo VIV correspondiente al caso I, pero no así respecto al caso II. A partir de los 41 años, el

VIV en ambos casos pasó a ser inferior a los VIV de los casos I y II hasta los 75 años, en que la relación se revirtió¹³.

Debe destacarse que *en todo momento* el VIV fue superior al valor esperado del capital humano para los cuatro casos. A partir de los 73 años, edad en que se supuso el individuo dejaba de trabajar, el VIV era positivo, aún cuando el valor esperado de los ingresos futuros ascendía a cero. Este resultado es valioso: una persona que no genera ingresos, pero que dispone de ahorros tiene disposición al pago por reducción de riesgos de muerte, mientras que utilizando el criterio de los ingresos futuros no se valorarían en absoluto beneficios por reducciones de riesgo.

También se observó que la disposición al pago en los últimos años de vida es superior en el caso en que existen mercados de capitales perfectos. Este punto tendría relevancia al tratarse disminuciones de riesgos que afectarán a personas mayores de 65 años, tales como riesgos de muertes por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cánceres de pulmón (Sommer H., Seethaler R. et al. 1999).

En cuanto a la sensibilidad de los resultados obtenidos, en primer lugar se estudió un incremento en las tasas de descuento e interés del 0,04 al 0,06. En ese caso, se constató un patrón de resultados algo similares, pero con un VIV casi siempre inferior al comparar caso con caso a lo largo del ciclo de vida¹⁴: al disminuir la preferencia por el consumo futuro disminuye la disposición al pago por reducciones en el nivel de riesgo de accidentes fatales. En cuanto a los valores del VIV, estos se mantuvieron en un rango comprendido entre los USD 400.000 y el millón de dólares entre los 25 y los 65 años.

En segundo lugar, se analizó el impacto de la reducción en la aversión al riesgo incrementando el valor de b a 0,8, lo que generó dos resultados. Primero, y como era de esperar, se redujeron sensiblemente los VIV en todos los casos, aunque los valores siguieron siendo *siempre* superiores al valor esperado del capital humano. En el caso de una tasa de interés/descuento del cuatro por ciento, los valores máximos se hallaron cerca de los USD 450.000 en el decenio entre los 30 y los 40 años dependiendo del caso considerado. A partir de los 50 años de edad, el VIV disminuyó por debajo de los USD300.000 llegando a valores de USD100.000 a los 65 años de edad. El segundo resultado, no anticipado, fue que entre los 35-37 años y los 73 años, el VIV resultó ser prácticamente el mismo en los cuatro casos. Tanto antes de los 35/37 años como después de los 73 años el VIV fue superior en los casos III y IV.

¹³ Existe evidencia empírica tanto internacional Hammitt J.K. (2007). "Valuing Changes in Mortality Risk: Lives Saved versus Life Years Saved." *Review Of Environmental Economics and Policy*. 1(2),228-240. como nacional Rizzi L.I. &Ortúzar J. de D. (2003). Stated preference in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis and Prevention* 35, 9-22. en contraposición con este resultado.

¹⁴ La excepción correspondió al caso I donde a partir de los 66 años de edad, el VIV resultó ser superior.

Finalmente se realizaron dos ejercicios de simulación adicionales. El primero de ellos consistió en suponer un coeficiente de aversión relativa al riesgo b igual a 0,3, con una tasa de interés del cuatro por ciento y una tasa de descuento del dos por ciento. Este último supuesto implica una alta preferencia por el consumo futuro. Resultó llamativo que en el caso II, el VIV presentara dos valores máximos, uno global y otro local: el primero de ellos, USD 1.360.000, a los 30 años de edad y el segundo a los 42 años, valor (USD 1.334.000).

El segundo ejercicio de simulación consideró idéntica tasa de interés, pero la tasa de descuento subió a seis por ciento, incrementándose así la preferencia por el consumo presente. Esta vez el caso I presentó dos máximos: el primero, de carácter global, a los 37 años y el segundo a los 61 años de edad; ambos entre los USD800.000 y los USD 900.000. Para el caso II, el máximo VIV fue USD 955.000 a los 40 años de edad (y a los 65 años pasó a ser USD 407.000). En los casos III y IV, el VIV disminuyó permanentemente a partir de los 25 años.

A modo de cierre, los modelos de ciclo de vida permiten concluir lo siguiente:

- ✓ A lo largo de todo el ciclo de vida, el valor del capital humano es dominado por el VIV. En aquellos casos donde la aversión al riesgo es baja y la preferencia por el consumo presente es muy marcada, el VIV es mayor que el valor del capital humano, sin embargo, hacia los últimos años de la vida laboral el VIV se acerca bastante al valor del capital humano. Si no se dan estos dos fenómenos de manera simultánea (baja aversión al riesgo y alta preferencia por el consumo presente), el VIV es muy superior al valor del capital humano.
- ✓ En los últimos años del ciclo de vida cuando la persona ya se retiró del mercado laboral, el valor del capital humano es cero, no así el VIV, que continúa siendo positivo.
- ✓ A mayor preferencia relativa por el consumo futuro, mayor es el VIV.
- ✓ El VIV no es constante a lo largo del ciclo de vida. Entre los 25 y 60 años de edad no existe un patrón definido al respecto que se repita en los cuatro escenarios analizados y ante diversos supuestos de tasa de descuento temporal, tasa de interés de mercado y aversión al riesgo¹⁵. A partir de los 65 años edad, se verifica en todos los escenarios simulados una caída sostenida en el valor del VIV.
- ✓ Cuando no existen mercados de capitales perfectos, el VIV toma su mayor valor hacia los años medios del ciclo de vida; cuando existen estos mercados, los mayores valores se observan durante los primeros años de la vida laboral.

¹⁵ Johansson P. (1996). On the value of changes in life expectancy. *Journal of Health Economics* 15, 105-113. demuestra que a partir de un análisis teórico no puede concluirse cómo evolucionara el VIV a lo largo del ciclo de vida.

3.1.1.13 Riesgos latentes y el valor de las reducciones de riesgo fatal

En esta sección trataremos el tema de la disposición al pago por riesgos latentes; es decir, riesgos que se manifestarán en el futuro. En estos casos es posible anticiparse a la ocurrencia del riesgo y comenzar a tomar acciones preventivas en tiempo presente de manera tal que el riesgo futuro sea mitigado. Un ejemplo al respecto son temas de calidad el aire, que afectan principalmente a personas mayores de edad. Una vez más, para estudiar este tema debe recurrirse a modelos de ciclo de vida. Adoptaremos una versión simplificada de ellos a fin de hacer más sencillo el análisis. Suponemos una función de utilidad de las siguientes características (Freeman A.M. III 2003)¹⁶:

$$UE = \sum_{i=1}^T P_i U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}} \quad (22)$$

C_i es el consumo el período i , P_i es la probabilidad de estar vivo al cumplir i años, d es la tasa de descuento temporal y T la máxima edad que se puede cumplir. A partir de esta función de utilidad esperada, se deducen varias expresiones relevantes. La disposición a pagar en el período n por disminuir el riesgo de muerte en el mismo período, p_n , está dada por la siguiente ecuación:

$$-\frac{dc_n}{dp_n} = \frac{\sum_{i=n}^T \frac{P_i}{(1-p_n)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} \quad (23)$$

La próxima ecuación nos entrega la disposición al pago en el período n por evitar un riesgo de muerte en el período $m > n$:

$$-\frac{dc_n}{dp_m} = \frac{\sum_{i=m}^T \frac{P_i}{(1-p_m)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} \quad (24)$$

¹⁶ Hammitt J.K. & J-T Liu. (2004). "Effects of Disease Type and Latency on the Value of Mortality Risk." Journal of Risk and Uncertainty. 28, 73-95. también tratan el tema de riesgos latentes. Si bien su modelo es diferente, las conclusiones teóricas que reportamos en esta sección son las mismas que ellos derivan.

Si el individuo tiene capacidad de ahorro o si existen mercados de capitales perfectos, manipulando las ecuaciones (23) y (24) y siendo consistente con la relación entre el período m y n , se obtiene esta igualdad:

$$\begin{aligned} \frac{dc_n}{dp_m} &= \frac{\sum_{i=m}^T \frac{P_i}{(1-p_m)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} = \frac{\sum_{i=m}^T \frac{P_i}{(1-p_m)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_m U'(C_m) \frac{1}{(1+d)^{m-1}}} \frac{1}{(1+r)^{m-n}} \\ &= -\frac{dc_m}{dp_m} \frac{1}{(1+r)^{m-n}} \end{aligned} \quad (25)$$

Así, la disposición al pago en el período n por reducir un riesgo de muerte en el período m ($> n$) (que afectará la probabilidad de sobrevivida hasta T) es igual a la disposición al pago en el período m por reducir un riesgo de muerte en el período m traída a valor presente en el período n descontando por r , la tasa de interés actuarial de mercado¹⁷. Además, se observa que

$$\frac{U'(C_n)}{U'(C_m)} = \frac{P_m}{P_n} \frac{(1+r)^{m-n}}{(1+d)^{m-n}} \quad (26)$$

En otras palabras, cuando existe capacidad de ahorro o existen mercados de capitales perfectos, las personas distribuyen su consumo a lo largo del ciclo de vida de manera que se cumpla siempre la Ecuación (26). Por ejemplo, si $r = d$, entonces $U'(C_n)/U'(C_m) = P_m/P_n < 1$, por lo que la utilidad marginal del consumo crece a lo largo del tiempo; es decir, en cada período se consume menos que en el período anterior según se va incrementando la probabilidad de muerte período a período. Si $P_m/P_n (1+r)^{m-n} = (1+d)^{m-n}$, entonces el consumo será constante a lo largo del tiempo.

Si no existen mercados de capitales perfectos y el individuo debe consumir todo su ingreso en cada período, la segunda igualdad en la Ecuación (21) deja de ser cierta. En este caso, la disposición al pago en el período n por reducir un riesgo de muerte en el período m ($> n$) será menor o igual a la disposición al pago en el período m por reducir un riesgo de muerte en el

¹⁷ Hammitt J.K. & Haninger (2010). "Valuing Fatal Risks to Children and Adults: Effects of Disease, Latency, and Risk Aversion." *Journal of Risk and Uncertainty*. 40, 57-83. aportan evidencia controversial en relación a este resultado. A partir de un trabajo de campo, observan que la disposición al pago por prevenir riesgos de muerte con períodos de latencia de diez y veinte años es estadísticamente igual a la disposición al pago por reducir riesgos presentes. Sin embargo, estos mismos autores reportan resultados de otros estudios donde habría mayor concordancia entre la teoría y los resultados empíricos.

período m traída a valor presente en el período n descontando por r , la tasa de interés actuarial de mercado¹⁸. Si fuera mayor, el individuo no estaría maximizando su utilidad a lo largo del ciclo de vida. Este fenómeno puede ser relevante desde el punto de vista empírico: si la gente joven tiene una fuerte restricción presupuestaria y no tiene acceso a mercados de crédito, entonces su disposición al pago por prevenir riesgos futuros podría ser muy baja.

Por último, analicemos como se compara la disposición al pago por reducir un riesgo de muerte hoy versus un riesgo de muerte futuro. Para ello haremos uso de las Ecuaciones (23) y (24) una vez más. La Ecuación (23) la interpretamos como la disposición al pago en el período n por disminuir el riesgo de muerte en el mismo período. La Ecuación (24) entrega la disposición al pago en n por disminuir el riesgo de muerte en el período posterior $m= n+1$. Restando la ecuación (24) a la ecuación (23):

$$\begin{aligned}
 -\frac{dc_n}{dp_n} - (-)\frac{dc_n}{dp_m} &= \frac{\sum_{i=n}^T \frac{P_i}{(1-p_n)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}} - \sum_{i=m}^T \frac{P_i}{(1-p_m)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} \\
 -\frac{dc_n}{dp_n} + \frac{dc_n}{dp_m} &= \frac{\sum_{i=n}^{m-1} \frac{P_i}{(1-p_n)} U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}} + \sum_{i=m}^T P_i \left(\frac{1}{(1-p_n)} - \frac{1}{(1-p_m)} \right) U(C_i) \frac{1}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} \\
 -\frac{dc_n}{dp_n} + \frac{dc_n}{dp_m} &= \frac{\sum_{i=n}^{m-1} \frac{P_i}{(1-p_n)} \frac{U(C_i)}{(1+d)^{i-1}} + \left(\frac{p_n - p_m}{(1-p_n)(1-p_m)} \right) \sum_{i=m}^T \frac{P_i U(C_i)}{(1+d)^{i-1}}}{P_n U'(C_n) \frac{1}{(1+d)^{n-1}}} \tag{27}
 \end{aligned}$$

Así la Ecuación (27) se reduce a la siguiente expresión:

$$-\frac{dc_n}{dp_n} + \frac{dc_n}{dp_m} = \frac{\frac{P_n}{(1-p_n)} U(C_n) + \left(\frac{p_n - p_{n+1}}{(1-p_n)(1-p_{n+1})} \right) \sum_{i=n+1}^T \frac{P_i U(C_i)}{(1+d)^{i-n}}}{P_n U'(C_n)} \tag{28}$$

El signo del numerador determina el signo de la Ecuación (28). La disposición a pagar por el riesgo futuro hoy día será mayor que la disposición a pagar por el riesgo presente si el numerador es negativo, para lo que debe cumplirse la siguiente condición:

¹⁸ Este resultado no está contenido en Hammitt J.K. & J-T Liu. (2004). "Effects of Disease Type and Latency on the Value of Mortality Risk." *Journal of Risk and Uncertainty*. 28, 73-95.

$$\frac{P_n U(C_n)}{\sum_{i=n+1}^T \frac{P_i U(C_i)}{(1+d)^{i-n}}} < \frac{P_{n+1} - P_n}{(1 - P_{n+1})} \quad (29)$$

Para ello, primero $p_{n+1} - p_n$ debe ser positivo, es decir, el riesgo de muerte en el período presente debe ser menor que en el período siguiente, resultado muy plausible. Segundo, $P_n U(C_n)$ debe ser suficientemente pequeño para que la desigualdad se cumpla. *A priori*, se espera que esta segunda condición se cumpla en muy pocas ocasiones. Por ejemplo, si C_n es constante a lo largo del ciclo de vida, la desigualdad en la Ecuación (29) no se cumplirá lo que implica que el numerador de la Ecuación (28) será positivo y por ende, la disposición a pagar por el riesgo presente será mayor a la disposición a pagar por el riesgo futuro, lo que es lógicamente esperable.

3.1.1.14 Disposición al pago por reducción de riesgos de morbilidad

El esquema conceptual y metodológico desarrollado a lo largo de este capítulo puede extenderse al estudio de la valoración de reducción de eventos de morbilidad. Consideremos dos funciones de utilidad, la función de utilidad $U(I)$ correspondiente a la situación con estado de salud normal y la función de utilidad $V(I)$, correspondiente al estado de salud con efecto de morbilidad. Aquí haremos dos supuestos. En primer lugar, se supone que dado un nivel de ingreso cualquiera, I^0 , el nivel de utilidad $U(I^0) > V(I^0)$, es decir, la utilidad asociado a un idéntico nivel de ingreso es mayor si se está sano. En segundo lugar, supondremos que $U'(I^0) > V'(I^0)$, es decir, la utilidad marginal del ingreso es mayor cuando se está sano que cuando se está enfermo, dado un mismo nivel de ingreso. Este segundo supuesto es más fuerte que el primero. Bajo estas condiciones, el nivel de utilidad esperado es el siguiente:

$$UE = (1 - p(q)) U(I) + p(q) V(I) \quad (30)$$

Diferenciando totalmente con respecto a q e I , igualando a cero y despejando, obtenemos

$$TMS_{I,q} = \frac{dI}{dq} = \frac{p'(q)(U(I) - V(I))}{(1-p)U'(I) + pV'(I)} \quad (31)$$

Puesto que $U(I) > V(I)$, la Ecuación (31) es negativa. Cuanto mayor sea la diferencia de utilidades entre el estado salud plena y el estado de salud con enfermedad, mayor será la DAP (en valor absoluto). *A priori* esta diferencia de utilidades será mayor cuanto más grave sea el evento de morbilidad. Reducir un evento de morbilidad que suponga una gran pérdida de calidad de vida podría ser prácticamente tan valorado como reducir una muerte estadística.

A continuación, estudiaremos dos fenómenos que son relevantes en caso de un evento de morbilidad. En primer lugar, una simple extensión de la Ecuación (30) nos permite considerar el impacto que la pérdida de ingresos genera sobre la DAP a reducir un evento de morbilidad. Supongamos que además de la pérdida de calidad de vida, haya una pérdida de ingreso I^{19} , tal que el ingreso en caso de enfermedad sea $I - I$. En tal caso, la Ecuación (31) se modificará de tal manera que considerará tanto el efecto por pérdida de bienestar como por pérdida de ingreso. En este caso, si adicionásemos los ingresos que se dejan de percibir a la disposición al pago en (31), estaríamos incurriendo en un error de doble contabilidad de beneficios. Por lo tanto, si estimamos la DAP por reducir eventos de morbilidad, no será necesario incluir la pérdida de ingresos.

En segundo lugar, veamos cómo se modifica la DAP en caso que una persona tenga contratado una póliza de seguro que lo proteja contra pérdidas de ingreso en caso de la ocurrencia de un evento de morbilidad. Una vez más, una simple extensión de la Ecuación (30) nos permite entender como contabilizar la DAP. Supongamos que se contrata un seguro cuyo costo es s , que en caso de ocurrencia de un evento de morbilidad genera un pago de t ($s \ll t \leq I$). En este caso, el ingreso en la situación de salud normal es igual a $I - s$; y en caso de salud afectada por enfermedad, el ingreso será $I - s + t$. Reemplazando en (30), obtenemos la DAP correspondiente. En caso que exista la posibilidad de comprar un seguro, la DAP por una mejora de salud será algo menor, puesto que la pérdida de ingreso asociada al evento de morbilidad es atenuada por la compra del seguro. Por el contrario, no hay seguro que pueda devolver la pérdida de calidad de vida.

¹⁹ Esta pérdida de ingreso incluye los costos médicos que genera el evento de morbilidad.

3.1.2 Estimación del Valor de las Reducciones de Riesgo Fatal

En este capítulo, se hace una revisión de cinco metodologías destinadas a obtener el *valor de las reducciones de riesgo fatal* (VRRF) en diversos contextos, ya sea en relación a proyectos de calidad del aire como proyectos de seguridad vial. En los casos en que existe experiencia local, esta será descrita cuando se repasen cada una de las metodologías. Se describirá una metodología de preferencias reveladas y cuatro metodologías de preferencias declaradas. Por preferencias reveladas (PR) nos referimos a datos obtenidos a partir del comportamiento de las personas en mercados reales; por preferencias declaradas (PD), a datos obtenidos a partir del uso de encuestas en las que se generan escenarios hipotéticos de tomas de decisión.

En relación a datos de PR, describiremos la técnica de salarios hedónicos; en cuanto a métodos de PD, describiremos los métodos de valoración contingente, apuesta estándar, encadenamiento y elecciones declaradas. Este capítulo, además, contiene una sección en la que se sistematizan las fortalezas y debilidades en un formato de tabla. Se le recuerda al lector, que el análisis que sigue es en función del potencial de cada una de estas cinco metodologías a fin de estimar el valor de las reducciones de riesgo fatal. Este capítulo no entrega un análisis abstracto de estas metodologías y, por lo tanto, los resultados aquí obtenidos no pueden extrapolarse de manera automática a la valoración de cualquier otro bien intangible.

3.1.2.1 Salarios Hedónicos

Estos estudios buscan determinar qué monto extra de dinero debe pagarse a un trabajador/a para que esté dispuesto a aceptar un empleo que conlleva un mayor riesgo de muerte. Para ello, se plantea un modelo de regresión, lineal o no lineal, en el que el salario horario de un puesto de trabajo (s) es función de los atributos del puesto de trabajo (vector x), de las características socio-demográficas (vector d) del trabajador que ocupa el puesto, del nivel de riesgo de accidente grave (escalar g) o fatal (escalar f) asociado al puesto de trabajo y de los montos de compensación en caso de accidente laboral (vector c). Suele plantearse una ecuación del siguiente tipo (Viscusi W. K. & Aldy J.E. 2003).

$$s = \alpha + \alpha_1 x + \alpha_2 d + \alpha_3 g + \alpha_4 f + \alpha_5 gc + \alpha_6 xd + \text{término de error} \quad (32)$$

En esta ecuación, los términos α_i son coeficientes a estimar. La especificación podría también ser de naturaleza no lineal, tanto en las variables explicativas como en la variable dependiente. La ecuación a estimar puede ser considerada como una forma reducida de un modelo estructural de oferta y demanda laboral. Además de los típicos problemas de errores en variables, suelen existir problemas de variables omitidas y endogeneidad. A partir de la Ecuación (32), se puede obtener el valor implícito por la vida mediante la siguiente expresión

$$\frac{\partial s}{\partial f} = \alpha_4.$$

El riesgo de accidente asociado al puesto de trabajo se determina a nivel de actividad económica utilizando clasificadores del estilo de la ‘Clasificación Industrial Internacional Uniforme’ de actividades económicas propuesta por Naciones Unidas. Estos clasificadores se hallan desagregados a nivel de dígitos: usualmente las actividades económicas se clasifican a nivel de dos, tres o cuatro dígitos²⁰. Según sea la calidad de la información disponible sobre registros de accidentes, el riesgo de accidente asociado al puesto de trabajo estará a nivel de dos, tres o cuatro dígitos. Este nivel de agregación en la manera en que se cuantifican los riesgos esconde grandes variaciones a nivel de las distintas actividades que conforman la categoría según dígito que se trabaje y podría hasta ser muy poco representativo del verdadero riesgo que corresponde al puesto de trabajo. Esta medida de riesgo descrita es de carácter objetivo y no necesariamente refleja la percepción de riesgo por parte del trabajador, aunque de manera implícita se verá reflejada en la estimación.

Un inconveniente, no menor, con los resultados de estudios de salarios hedónicos reside en cómo extrapolar a otros riesgos que sean materia de evaluación en materia de políticas públicas, como ser proyectos de calidad del aire. Supongamos por unos instantes que no hubiese ningún reparo metodológico ante un estudio de salario hedónico, ¿podrían estos resultados ser adoptados como referentes para evaluación social de proyectos de mejora de calidad del aire que entreguen beneficios a la salud en términos de mortalidad y/o morbilidad? Es muy probable que las personas que elijan un empleo de alto riesgo sean aquellos individuos que están dispuestos a recibir una menor compensación económica por correr mayores riesgos. Este fenómeno en la literatura recibe el nombre de *autoselección*; en otras palabras, los trabajadores que mayor predisposición tienen para enfrentar riesgos laborales son quienes se terminan empleando en los trabajos más riesgosos. Si este fenómeno ocurre, entonces la prima salarial que estas personas están dispuestas a aceptar será menor que la prima que estarán dispuestas a aceptar personas con menor propensión a aceptar riesgos de accidentes laborales. En este sentido, la prima salarial de mercado observada subestima el valor que el resto de las personas le otorgan a disminuir un riesgo de muerte y/o morbilidad²¹. Lamentablemente, más allá de los estudios de salarios hedónicos hay muy pocas oportunidades para observar comportamiento de personas donde estén transando riesgo por dinero.

²⁰ Según Naciones Unidas (2006). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas. Revisión 4., las “actividades económicas se subdividen en una estructura jerárquica integrada por cuatro niveles de categorías mutuamente excluyentes [...]. Las categorías del nivel superior de la clasificación se denominan secciones, que son categorías identificadas por un código alfabético [...]. Las secciones subdividen el espectro completo de actividades productivas en grandes grupos, como “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” (sección A), “Industrias manufactureras” (sección C) o “Información y comunicaciones” (sección J). La clasificación se estructura a partir de esas secciones en categorías cada vez más detalladas, identificadas por un código numérico, que es de dos dígitos para las divisiones, de tres dígitos para los grupos, y de cuatro dígitos para las clases, el nivel más desagregado.”

²¹ Si fuera el caso que los puestos de trabajos más riesgosos fuesen ocupados por las personas con menores habilidades laborales, la estimación de la prima salarial por riesgo podría ser cero o tal vez negativa.

Los estudios de salarios hedónicos son ampliamente utilizados para estimar el VRRF. Viscusi (1993) y Viscusi & Aldy (2003) presentan una revisión de la aplicación de estas metodologías a la estimación del VRRF en contextos laborales. Considerando la segunda de estas revisiones, el 50 por ciento de los VRRF estimados en EE.UU se encuentran en un rango comprendido entre USD 6.1 millones y los USD 14.6 millones, siendo la mediana USD 8.5 millones²². Los mismos autores consignan que en Canadá se habían realizado, hasta el 2003, seis estudios que reportan VRRFs desde USD 2.7 millones hasta USD 26.5 millones, con una mediana de USD 6.5 millones²³.

En EE.UU, la Agencia de Protección del Medio Ambiente realizó un análisis costo- beneficio del Acta de Aire Limpio (EPA 1999). Para ello estimó el VRRF basándose en 26 estudios, de los cuales 21 consistieron en aplicaciones de la técnica de salarios hedónicos. EPA (1999), en base a estos estudios, arribó a un VRRF promedio de USD 4.8 millones (precios de 1990) con una desviación estándar de USD 3.2 millones. Estos valores han sido actualizados recientemente por la misma Agencia a MUSD 7.4 y MUSD 4.7 (EPA 2010b)²⁴. Esto ilustra la relevancia que tienen los estudios de salarios hedónicos a la hora de valorar proyectos de mejora de calidad del aire en EE.UU. Los 21 estudios de salarios hedónicos considerados en EPA (2010b) se muestran en la siguiente tabla:

²² Valores en USD 2011. Estos valores transferidos a Chile según IPP corresponden a 1.9 MUSD, 4.5 MUSD, 2.6 MUSD respectivamente.

²³ Valores en USD 2011. Estos valores transferidos a Chile según IPP corresponden a 0.8 MUSD, 8.2 MUSD, 2.0 MUSD respectivamente.

²⁴ Valores en USD 2010. En USD 2011 estos valores corresponden a 7.6 y 4.8 MUSD respectivamente. Estos últimos valores transferidos a Chile según IPP corresponden a 2.3 MUSD y 1.5 MUSD respectivamente.

IPP: ingreso per cápita ajustado por poder de paridad de compra. Los datos de IPP ajustado por poder de paridad de compra se obtienen en <http://data.worldbank.org/indicador/NY.GNP.PCAP.PP.CD>.

Tabla 3-3 Estimación de Valores de Reducción de Riesgo Fatal por Salarios Hedónicos

Estudio	País	Valores Originales Miles USD 2006	Actualizados Miles USD 2011	Transferencia Chile Miles USD*
Kniesner & Leeth - US (1991)	Australia	850	952	293
Smith & Gilbert (1984)	EE.UU.	970	1,086	335
Dillingham (1985)	EE.UU.	1,340	1,511	465
Butler (1983)	EE.UU.	1,580	1,770	545
Moore & Viscusi (1988)	EE.UU.	3,640	4,077	1,256
Marin & Psacharopoulos (1982)	RR.UU.	4,130	4,626	1,854
Kniesner & Leeth - Australia (1991)	Australia	4,860	5,443	2,069
Cousineau, Lecroix & Girard (1988)	Canada	5,340	5,981	1,842
Dillingham (1985)	EE.UU.	5,710	6,395	1,970
Viscusi (1978)	EE.UU.	6,070	6,798	2,094
Smith R.S. (1976)	EE.UU.	6,800	7,616	2,346
Smith V.K. (1983)	EE.UU.	6,920	7,750	2,388
Olson (1981)	EE.UU.	7,650	8,568	2,640
Viscusi (1981)	EE.UU.	9,600	10,752	3,312
Smith R.S. (1974)	EE.UU.	10,570	11,838	3,647
Moore & Viscusi (1988)	EE.UU.	10,690	11,973	3,688
Kniesner & Leeth - Japan (1991)	Japón	11,180	12,522	5,274
Herzog & Schlottman (1990)	EE.UU.	13,360	14,963	4,610
Leigh & Folsom (1984)	EE.UU.	14,210	15,915	4,903
Leigh (1987)	EE.UU.	15,310	17,147	5,282
Garen (1988)	EE.UU.	19,800	22,176	6,832

*VRRF(Chile) = VRRF(país de referencia) * IPP Chile / IPP (país de referencia); IPP: ingreso per cápita ajustado por poder de paridad de compra. Los datos de IPP ajustado por poder de paridad de compra se obtuvieron en <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.PP.CD>.

Fuente: EPA (2010b)

A priori el método de salarios hedónicos no es adecuado para determinar el beneficio por reducir fatalidades a ser utilizado en evaluación social de proyectos. Dado que la técnica de salarios hedónicos se apoya en el uso de datos de preferencias reveladas, los resultados que entrega este método pueden ser relevantes para valorar proyectos destinados a reducir riesgos de accidentes de trabajo. Sin embargo, su extrapolación a otros contextos, como ser proyectos de mejora de calidad del aire o de seguridad vial, presenta notables desafíos no resueltos aún.

No se tienen antecedentes de este tipo de estudio en Chile.

3.1.2.2 Métodos de Valoración Contingente

Esta técnica de cuestionario consiste en preguntar a la gente su disposición al pago por un determinado bien o atributo en forma directa. En el caso de seguridad vial, la pregunta podría ser la siguiente:

“¿cuánto está usted dispuesto a pagar por una disminución en el riesgo de accidentes fatales en carreteras de dos en 100.000?”

Se aprecia claramente que este método es muy directo y que la pregunta es de difícil comprensión por el hecho de incluir una probabilidad muy pequeña de accidente. La ventaja de una pregunta tan directa puede convertirse en una desventaja cuando el encuestado no tiene bien definidas sus preferencias.

En la literatura de transporte, los estudios de valoración contingente (VC) han sido ampliamente utilizados para determinar el VRRF aplicable a medidas de seguridad vial (Jones Lee M., Hammerton M. et al. 1985)²⁵; (Jones Lee M., O'Reilly D. et al. 1993) y (Beattie J., Covey J. et al. 1998). El segundo de estos estudios también tuvo por finalidad estimar un valor por reducción de riesgos de accidentes no fatales. El libro editado por Schwab-Christe & Soguel (1995) contiene un resumen de varios estudios de VC realizados en países europeos destinados a obtener tanto el VRRF así como el valor de reducciones de accidentes graves. A continuación, se describe con cierto detalle el estudio de Jones Lee et al. (1993). La encuesta comenzaba con una serie de preguntas referidas a la experiencia de conducción de la persona (por ejemplo, si manejaba o no, con qué frecuencia, etc.), y si la persona encuestada o algún pariente cercano había estado involucrado en accidentes.

²⁵ Este documento fue publicado en una revista indexada; el trabajo de campo está explicado en detalle en Jones Lee et al. (1983).

En la segunda etapa, se presentaba un juego de diez tarjetas, cada una de ellas describiendo distintos efectos sobre la salud a causa de un accidente y el encuestado debía escalarlas de mayor a menor según su orden de preferencia por estado de salud. Luego había que asignar una calificación a las tarjetas en una escala del 0 al 100, donde 0 correspondía al peor estado de salud y 100 al mejor estado de salud. Una vez finalizada esta etapa, se procedía a familiarizar al encuestado con los conceptos de riesgo expresados en tanto por cien mil. Para esto se hacía un pequeño ejercicio a fin de verificar si se entendía bien el concepto.

Luego se pasaba al ejercicio de VC propiamente tal. En éste, se le decía al individuo que existía un dispositivo que si se instalaba en el auto, reducía el riesgo de determinado tipo de accidente asociado a algunos de los estados de salud indicados en la segunda etapa y se especificaba en cuánto se reducía dicho riesgo. Se le hacía notar al encuestado que si bien no existía dicho dispositivo, lo importante era concentrarse en las reducciones de riesgo que implicaba. Se le recordaba que tenía que pensar que ese dispositivo sólo afectaría a él/ella, no a otras personas, y que sólo servía para ese riesgo en cuestión. El fraseo de la pregunta era del siguiente tipo:

“Supóngase que las consecuencias de un accidente sean las siguientes: (se describe un estado de salud asociado a un accidente grave) y actualmente usted enfrenta un riesgo de 8 en 100.000. Imagine un aparato de seguridad que reduce dicho riesgo en 4 en 100.000 llevándolo a 4 en 100.000.

Mire las sumas de dinero (se acompañan en la hoja) e indique

- *La suma que usted está seguro que pagaría*
- *La suma que usted está seguro que no pagaría*
- *La suma que usted cree es la mejor estimación de lo que pagaría.”*

Como respuesta, la persona debía indicar qué valores pagaría con certeza, cuáles dudaba y cuáles no pagaría en absoluto dentro de una serie de valores que se acompañaban. Este ejercicio se realizaba seis veces para seis tipos de accidentes distintos. Luego se preguntaba si había sido posible concentrarse sólo en los efectos no financieros; esto es, si había sido posible pensar sólo en dicho riesgo. Finalmente, se hacían una serie de preguntas sobre las características socioeconómicas de la persona.

Los estudios de Jones Lee et al. (1985 y 1993) fueron de gran envergadura, y en base a ellos el Departamento de Transporte y Medio Ambiente del Reino Unido ha establecido los valores por prevenir víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito a utilizar en la evaluación social de proyectos viales. El valor de prevenir una fatalidad de tránsito se determinó a partir del primer estudio (cuyo trabajo de campo se realizó en 1982) y asciende a GBP 1.585.510 a precios de 2009 (NERA 2011). El valor de prevenir una víctima gravemente herida se derivó del segundo estudio y su valor es GBP 178.160 a precios de 2009 (NERA 2011)²⁶.

²⁶ En USD 2011 estos valores corresponden a 1.1 MUSD y 119,550 USD respectivamente. Estos últimos valores transferidos a Chile según IPP corresponden a 0.4 MUSD y 47,906 USD respectivamente.

Es importante señalar que los resultados obtenidos en los estudios de valoración contingente no han sido muy alentadores, en general, en cuanto a la consistencia del método. En primer lugar, se constató que la disposición al pago suele ser independiente del nivel de reducción en el riesgo. Es decir, la gente está dispuesta a pagar una cifra por seguridad, pero no consideraba la magnitud en que el riesgo estaba siendo disminuido, solo bastaba que el riesgo disminuya. Se ha argumentado que una posible explicación de este comportamiento sería que valores de probabilidad tan pequeños son muy difíciles de internalizar por los individuos.

Segundo, tanto en los estudios de Jones Lee et al. (1985) como de Beattie et al. (1998) se obtuvo que la disposición a pagar por evitar un accidente fatal era prácticamente la misma que por evitar accidentes no fatales, lo que parece poco lógico. Los autores concluyeron que, muy probablemente, el valor que la gente declaraba estar dispuesta a pagar por prevenir un accidente con consecuencias específicas era el mismo independientemente de qué tipo de consecuencias se tratase. En otras palabras, se asignaba una parte del presupuesto a prevención de riesgos en automóvil sin discriminar si las consecuencias del mismo eran, por ejemplo, una fatalidad, una hemiplejía o sólo un traumatismo.

En Beattie et al. (1998) se encontró también evidencia de la existencia del *efecto incrustamiento* y del *efecto secuencia*. El primero está presente si la valoración de un bien varía dependiendo de si se lo presenta de manera individual o formando parte de un bien más general. El segundo efecto está presente si el valor que una persona asigna a un bien depende del orden en que el mismo es presentado dentro de un grupo de bienes. Ambos efectos son fenómenos microeconómicos legítimos y, en particular, el efecto incrustamiento es más complejo de probar.

Cabe señalar, por otra parte, que en estos tres estudios ((Jones Lee M., Hammerton M. et al. 1985)²⁷; (Jones Lee M., O'Reilly D. et al. 1993) y (Beattie J., Covey J. et al. 1998)) se puede constatar un cierto cambio de opinión de los autores respecto a la percepción de la bondad de los resultados entregados por encuestas de valoración contingente. En el año 1985 se pensaba que el método era promisorio, pero ya en el año 1998 el enfoque era muy criticado y debe tenerse en cuenta que algunos de los autores participaron en los tres estudios.

La Tabla 3-4 resume un conjunto de VRRF estimados aplicando metodologías de valoración contingente. Se observa que existe una alta variabilidad de resultados. La mediana de estos valores (USD 2,3 millones) actualizada a precios de 2011 asciende a USD 3.2 millones. Este valor es inferior a la mediana de los valores reportados en la Tabla 3-3 (USD 7.6 millones, precios 2011), correspondiente a estudios de salarios hedónicos. De todas maneras, tómesese esta

²⁷ Este documento fue publicado en una revista indexada; el trabajo de campo está explicado en detalle en Jones Lee et al. (1983).

comparación con sumo cuidado, dado que la Tabla 3-4 reporta principalmente límites inferiores y superiores de intervalos de confianza y la Tabla 3-3, valores puntuales.

Tabla 3-4 Estimación de Valores de Reducción de Riesgo Fatal Vial por Valoración Contingente

Autores	País	Valores estimados Miles USD 1997		
		Valor Puntual	Intervalo de Confianza	
			Rango Inferior	Rango Superior
(Beattie J., Covey J. et al. 1998)	UK		1.344	15.187
(Carthy T., Chilton S. et al. 1999)	UK		4.031	5.246
(Corso P.S., Hammitt J.K. et al. 2000)	US		2.336	5.548
(Desaigues B. & Rabl A. 1995)	Francia		882	2.051
(Johannesson M., Johansson P.-O. et al. 1996)	Suiza		5.242	6.312
(Jones-Lee M.W., Hammerton M. et al. 1983)	UK		594	10.149
(Kidholm K. 1995)	Dinamarca		745	1.110
(Lanoie P., C. Pedro et al. 1995)	Canadá		1.739	3.111
(Maier G., Gerking S. et al. 1989)	Austria		1.557	4.297
(McDaniels T.L. 1992)	EE.UU		8.327	29.933
(Morrall III J.F. 1986)	EE.UU		143	1.864
(Persson U. & Cedervall M. 1991)	Suecia		1.224	25.949
(Persson U., Norindr A. et al. 1995)	Suecia		4.262	4.866
(Persson et al. 2001)	Suecia	2.307		
(Schwab Christe N.G. 1995)	Suiza	906		
(Schwab Christe N. & Soguel N. Eds. 1995)	Suiza		816	981
(Viscusi W., Maga et al. 1991)	EE.UU	9.116		

Fuente: De Blaeij et al. (2003)

3.1.2.2.1 Estudios de Valoración Contingente en Chile

En Chile, se han llevado a cabo dos estudios de VC que entregan el VRRF. Prieto (2000) y Escobari (2000) reportan los resultados del primer estudio y Subelman (2000), los del segundo. El primero de los estudios VC se basó en Krupnick et al. (1999). A diferencia de estudios previos de VC en la literatura, se procuró i) consistencia entre el período en que toma lugar la reducción de riesgo y el momento en que se efectúa al pago, ii) personalizar el nivel de riesgo según edad y género de cada persona encuestada y iii) evitar asociar la reducción de riesgo a una política pública en particular.

El cuestionario de encuesta comprendía cuatro partes. La primera de ellas estuvo destinada a familiarizar a las personas con el concepto de riesgos de muerte y con las causas de muerte en Chile, según género y edad. También se les dijo como podrían ser mitigados algunos riesgos de muerte. La segunda parte de la encuesta mostró a los encuestados los niveles de riesgo que les correspondían según edad y género. Se les permitió además que pudieran cambiar el nivel de riesgo base si alguno de ellos consideraba que ese riesgo base, propuesto por el analista, no se correspondía con su percepción de riesgo. A continuación se les preguntaba por su disposición al pago por disminuciones en el riesgo de muerte de uno en diez mil y de cinco en diez mil en los próximos 10 años. El riesgo base y las reducciones de riesgo fueron presentados gráficamente utilizando matrices que contenían 10.000 círculos. Los resultados correspondientes a esta segunda parte de la encuesta se reportan en Prieto (2000). La tercera parte de la encuesta preguntaba por la disposición al pago por reducción en un riesgo de muerte a ocurrir en entre los 70 y los 80 años. Los resultados de esta parte se reportan en Escobari (2000). La cuarta y última parte, recababa información demográfica de las personas.

Las tres preguntas de valoración fueron del tipo referéndum, en donde las personas deben responder si están dispuestas a pagar o no una cierta cantidad de dinero por la disminución de riesgo ofrecida. Si la respuesta era afirmativa, se incrementaba el costo de la disminución de riesgo y nuevamente debía decirse si se estaba dispuesto a pagar o no esa cantidad de dinero. Si la respuesta a la primer pregunta fue negativa, la segunda cantidad ofrecida era de menor cuantía. El monto de dinero por el que se interrogaba en la primera pregunta era determinado de manera aleatoria para así contar con distintos puntos de partida.

La encuesta no especificaba ningún riesgo de muerte en particular, por lo que la interpretación al respecto quedaba al arbitrio del encuestado²⁸. La muestra estuvo compuesta de 345 individuos, que en su mayoría trabajaba y tenía un nivel educacional superior al de un chileno promedio. Un 60 por ciento eran hombres y sólo un dos por ciento correspondía a personas sobre los 60 años de edad. El ingreso promedio de la muestra era de USD 1,204 a valores de 2000, bastante mayor que el promedio nacional obtenido por INE (2000) que ascendía a USD 460.

Los resultados entregaron un VRRF para una reducción del riesgo de muerte presente en un intervalo de confianza cuyo rango de valores se ubica entre USD 919 y USD 1.2 millones. Estos valores han sido debidamente ajustados por ingreso, considerando que el ingreso promedio de la muestra supera ampliamente el ingreso promedio del país. En cuanto a la disposición al pago por reducir riesgos a edad futura entre los 70 y 80 años de edad, el VRRF estimado se halló en

²⁸ Al ser interrogadas las personas sobre cómo se daría la reducción en el riesgo fatal, un 5,3 por ciento de la muestra dijo haber pensado en una mejora de la seguridad vial; un 12,7 por ciento en una mejora de la calidad del aire; un 33,9%, en una campaña de salud y un 48,1 por ciento no vinculó la reducción de riesgo fatal a ningún riesgo específico.

un rango entre USD 165 mil y USD 219 mil, valores ajustados por ingreso²⁹. Los VRRF asociado a disminuciones de riesgos de muerte futuros (Escobari J. 2000) resultan bastante menores que aquellos asociado a disminuciones de riesgos presentes (Prieto J.J. 2000). Esta diferencia permite confirmar la hipótesis de que las personas valoran menos las reducciones futuras de riesgos de muerte que las actuales.

Por último, Subelman (2000) utilizó el método de Valoración Contingente para estimar la disposición a pagar por reducciones permanentes en los niveles de contaminación. En este trabajo se preguntó a 100 personas su DAP durante los próximos 10 años por un producto que entregaba un determinado aumento en su esperanza de vida. Como resultado se obtuvo un rango para el VRRF entre USD 162 mil y USD 178 mil³⁰. Al comparar el estudio de Subelman (2000) con el de Prieto (2000) y Escobari (2000), se observa que la DAP por aumentos en la esperanza de vida es inferior a la DAP por reducciones en el riesgo de muerte.

A modo de conclusión, encuestas de VC generan situaciones hipotéticas que no reflejan escenarios de decisión de la vida real y, por lo tanto, son miradas con desconfianza por los economistas (Hausman J. (Ed.) 1993). Hoy día esta técnica está siendo crecientemente reemplazada por el uso del método de las elecciones discretas a explicar más adelante.

En cuanto a los estudios de valoración contingente realizados en Chile, estos contribuyeron con un significativo aporte de evidencia empírica sobre el valor de las reducciones de riesgo en el país e incluso contribuyeron a la literatura internacional sobre el tema.

De hacerse un estudio de estas características hoy día recomendaríamos que el estudio se focalice en valorar riesgos concretos de muerte como ser riesgos por enfermedades cardiovasculares o riesgos de seguridad de tránsito. Creemos, sin embargo, que para ello la técnica de elecciones declaradas sería más robusta para valorar un amplio abanico de riesgos fatales.

²⁹ Los valores presentados en este párrafo fueron actualizados a precios de 2004 y ajustados por el crecimiento del ingreso per cápita por Puebla A.M. (2005). Experiencia Chilena en Valoración de Efectos en la Salud por Contaminación Atmosférica y su Aplicación a Planes de Transporte Urbano. Memoria de Grado. Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile. La paridad cambiaria ese año era USD 1 = CLP 600. Los valores actualizados a valores 2011 corresponden a 1.5 y 1.9 MUSD para el primer conjunto de valores y 263.4 y 349.7 miles de USD para el segundo grupo de valores (Paridad cambiaria 2011: USD 1 = CLP 483.4).

³⁰ Los valores presentados en este párrafo fueron actualizados a precios de 2004 y ajustados por el crecimiento del ingreso per cápita por Puebla (2005). La paridad cambiaria ese año era USD 1 = CLP 600. Los valores actualizados a valores 2011 corresponden a 259 y 284 Miles USD respectivamente (Paridad cambiaria 2011: USD 1 = CLP 483.4).

3.1.2.3 Método de la Apuesta Estándar³¹

Este método es de uso común en la literatura médica y consiste en someter al encuestado a la siguiente disyuntiva. Se le pide que imagine que sufrió un accidente y se le detallan las consecuencias del mismo. Luego se le dice que existe un tratamiento que tienen una probabilidad de éxito, $p_{\text{éxito}}$, de que la persona recupere su estado de salud previo al accidente, pero que hay una probabilidad de fracaso, $p_{\text{fracaso}} = 1 - p_{\text{éxito}}$, de que el individuo muera instantáneamente.

Dadas estas condiciones, la persona tiene que indicar con qué probabilidad $p_{\text{éxito}}$ tomaría el tratamiento, con qué probabilidad $p_{\text{éxito}}$ dudaría y con qué probabilidad $p_{\text{éxito}}$ no lo tomaría en absoluto. Así se puede proceder con varios casos. Un ejemplo tomado de Jones Lee et al. (1995) ayudará a entender cómo funciona el método.

“Suponga que Usted sufrió un accidente automovilístico y es llevado al hospital. Los doctores le dicen que si usted es tratado en la forma habitual, le acontecerá lo que se indica en la tarjeta R. Le dicen también que existe un tratamiento diferente, cuyo resultado es incierto; si el mismo tiene éxito usted recuperará su estado de salud normal en un breve tiempo, pero en caso contrario fallecerá (ver tarjetas J y K):

<i>Tratamiento convencional</i>	<i>Tratamiento alternativo</i>
<p><i>Tarjeta R</i></p> <p><i>En hospital:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>1-4 semanas</i> • <i>dolor suave a moderado</i> <p><i>Después del hospital</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>cierto dolor e inconvenientes, reduciéndose gradualmente</i> • <i>algunas restricciones para trabajar y para actividades recreativas, mejorando sostenidamente</i> • <i>después de un período de 1 a 3 años se vuelve al estado de salud normal, sin ningún tipo de consecuencia</i> 	<p><i>Tarjeta J</i></p> <p><i>Si el tratamiento es exitoso:</i></p> <p><i>Recupera su estado de salud normal en un breve tiempo</i></p>
	<p><i>Tarjeta K</i></p> <p><i>Si el tratamiento fracasa:</i></p> <p><i>Estado de inconsciencia inmediata, seguido por la muerte.</i></p>

*¿Con que posibilidad de éxito aceptaría usted el tratamiento?
 Probabilidad de éxito: 99 en cien*

³¹ Esta es la traducción literaria del término Standard Gamble. En idioma inglés, una de las acepciones de la palabra “gamble” es la disposición a aceptar un riesgo con la expectativa de que el resultado final será beneficioso.

98 en cien
97 en cien
....
90 en cien
....
80 en cien
....”

Esta forma de encuestar parecería estar más en línea con la idea que las personas no perciben el riesgo *ex ante* de manera adecuada, pero si pueden familiarizarse con mayor facilidad con distintos estados de salud. Entonces, hay que centrarse en las consecuencias de los accidentes: se coloca a la gente en una situación post-accidente y a partir de ahí se obtiene la disposición al pago por retornar al estado de salud normal pre-accidente. Es altamente dudoso que los individuos tengan la capacidad de internalizar estados de salud propios de accidentes de severa gravedad. Por otro lado, este tipo de elección claramente no es la que las personas hacen a la hora de prevenir accidentes.

Con esta técnica se obtienen los cocientes entre los valores $\Delta\sigma_j$ (variación en la percepción del riesgo σ_j), para todo j , donde j se refiere a todos los posibles estados de salud como consecuencia de un accidente vial. Para arribar a valores monetarios debe tenerse como referencia algún valor de $TMS_{i,j}$ (tasa marginal de sustitución entre ingreso y riesgo j). En el caso del ejemplo, dicho valor era el VRRF utilizado en evaluación de proyectos de caminos troncales en el Reino Unido. Así queda $TMS_{i,d} \Delta\sigma_d = TMS_{i,t} \Delta\sigma_t$, donde d : muerte y t : por ejemplo, traumatismo de cráneo. Aquí la única variable desconocida es $TMS_{i,t}$, la cual se puede despejar fácilmente. Se procede de igual forma para los demás $TMS_{i,j}$.

Aparte del ejercicio de elección, el resto de la encuesta es similar a la de valoración contingente. Existe una sección destinada a recabar información sobre hábitos de manejo del encuestado, luego se procede a familiarizarlo con las consecuencias en la salud de un accidente en automóvil y se le pide que haga una jerarquización y un escalamiento de dichos estados de salud. A continuación se hace una serie de ejercicios de probabilidades (en términos de tanto por cien) y la última sección recoge la información socioeconómica.

Según los encuestadores, el ejercicio de “apuesta estándar” resultó ser menos demandante en términos de esfuerzo cognitivo por parte del encuestado que el ejercicio de VC. Dos razones se esgrimieron al respecto. Primero, la naturaleza del ejercicio de “apuesta estándar” era tal que para el individuo resultaba más fácil concentrarse en la respuesta, sin tener que pensar en los efectos monetarios. Segundo, los rangos de probabilidades eran del orden del tanto por ciento, magnitudes más fáciles de entender que en tanto por cien mil. De hecho, por este motivo a la hora de determinar valores para las reducciones de accidentes no fatales (cifras ya indicadas) los autores se decidieron por los valores obtenidos a partir del ejercicio de apuesta estándar.

Si bien los estudios de apuesta estándar pueden ser muy relevantes en el área de medicina en donde pacientes graves deben tomar decisiones del estilo, la naturaleza de los riesgos de muerte que una persona enfrenta en relación a calidad del aire o seguridad vial es diferente. En estos casos, simplemente se trata de reducir riesgos de muerte o morbilidad, tomando como situación base el estado de salud normal de la persona

No se recomienda la aplicación de esta técnica para determinar el beneficio por reducir fatalidades a ser utilizado en evaluación social de proyectos.

3.1.2.4 Método de la Cadena

Viscusi et al. (1991) utilizaron este método que consta de dos partes. Por un lado se estiman compromisos entre distintos tipos de riesgos; por otro lado, se estiman compromisos entre uno de los riesgos evaluados y la disposición al pago. En el caso de este estudio, se consideró un riesgo de muerte por accidente vial (AV) y un riesgo de contraer bronquitis crónica (BC).

El primer tipo de compromiso respondía a la siguiente lógica. Consideremos una situación (a) en que existe un determinado riesgo de bronquitis crónica (p_a) y de riesgo de accidente vial (q_a) y otra situación (b) con distintos niveles de ambos riesgos (p_b , q_b), tal que la probabilidad de que sucedan los dos eventos conjuntamente es cero. En este contexto la función de utilidad esperada se plantea de la siguiente forma:

$$p_a U(BC) + q_a U(AV) + (1 - p_a - q_a) U(H) = p_b U(BC) + q_b U(AV) + (1 - p_b - q_b) U(H)$$

H corresponde al estado de salud normal. El compromiso entre riesgos supone variar los niveles de ambos riesgos, bronquitis crónica y accidente vial, p_a , q_a , p_b y q_b , en ambas situaciones, tal que en el caso (A) sea siempre menor el riesgo de bronquitis crónica y en el caso (B) lo sea el de accidente vial fatal. Al encuestado se le presentó un primer juego de elección y, a partir de éste, se ajustaron los niveles de los riesgos hasta lograr la indiferencia entre una y otra situación.

El segundo compromiso se daba entre uno de los riesgos, por ejemplo bronquitis crónica, e ingreso personal, el cual se modela así:

$$p_a U(BC, I) + (1 - p_a) U(H, I) = p_b U(BC, I - Z) + (1 - p_b) U(H, I - Z)$$

En este caso los elementos variables son p_a , p_b y Z , es decir los riesgos de contraer bronquitis crónica en ambas situaciones y el ingreso Z que se estaría dispuesto a pagar por un menor nivel de riesgo. Finalmente se encadenan ambos resultados y se obtiene la disposición al pago por reducciones de accidentes viales. La idea central del método de la cadena es que las personas

encuentran más fácil responder a compromisos entre diversos riesgos que a compromisos entre ingreso y riesgo. Por lo tanto, si se dispone de un valor económico base para las reducciones de algún riesgo, a partir de encadenamientos es posible obtener el valor económico de un sinnúmero de otros riesgos, sean fatales o no.

En el trabajo de Viscusi et al. (1991), se agrupó un total de 389 individuos en dos submuestras. La primera, 194 personas, respondió el ejercicio recién descrito, mientras que los restantes 195 individuos respondieron a un compromiso entre riesgo de accidente vial y dinero en la segunda parte del experimento. A partir de los datos provistos en el trabajo, se puede hacer el siguiente análisis: comparar el valor por reducción de riesgo de contraer bronquitis crónica obtenido a partir de la primera submuestra con el valor correspondiente al encadenamiento a partir de la segunda submuestra, bajo el supuesto de homogeneidad de las submuestras. Cuando se comparan las medianas para ambos casos, se obtienen valores de USD 457.000 versus USD 800.000 y al comparar las medias USD 883.000 versus USD 6.962.000 (Valores en USD1991³²). Como se ve, aunque el valor de las medianas difiere de manera importante al menos están en el mismo orden de magnitud, lo que no ocurre con los valores de las medias. No obstante, es importante destacar que la diferencia en las medias se debe a la presencia de una persona extrema.

La idea de encadenamiento también fue utilizada por Carthy et al. (1999) en una metodología algo distinta y que consta de cuatro etapas. En primer lugar, se le dice a la persona que imagine que sufrió un accidente de ciertas características y se le pregunta la disposición al pago por un tratamiento que permite una recuperación total en poco tiempo con total certeza y la disposición a aceptar compensación por permanecer en dicho estado de salud. En la segunda parte se calcula la tasa marginal de sustitución entre ingreso y un riesgo de accidente no fatal como el considerado en la primera parte. En la tercera parte, se realiza una encuesta de “apuesta estándar” modificada: el tratamiento convencional también tiene asociada una posibilidad de fracaso que conduce a la muerte. En la cuarta y última parte, se encadena el valor estimado de la tasa marginal de sustitución en el segundo paso a los cocientes estimados en el ejercicio de “apuesta estándar” y se obtiene el valor de las reducciones de riesgo. En este caso se partió del supuesto que era más fácil responder a compromisos entre dinero y riesgo de no fatalidad que a compromisos entre dinero y riesgo de fatalidad.

El método de Carthy et al. (1999) permite, en principio, el siguiente doble encadenamiento. Por un lado se tiene:

$$TMS_{i,d} = TMS_{i,t} \Delta \sigma_t / \Delta \sigma_d, \quad (33)$$

³² Valores actualizados a 2011 corresponden a 754 y 1,320 miles de USD respectivamente para las medianas y 1,457 y 11,487 miles de USD respectivamente para las medias.

donde d indica muerte y t , traumatismo craneano. Si por otro lado se tienen datos respecto a otro tipo de estado de salud, $TMS_{i,c}$ donde c implica otra estado de salud consecuencia de un accidente (por ejemplo: hemiplejía), y se calcula la siguiente relación $TMS_{i,t} = TMS_{i,c} \Delta\sigma_c / \Delta\sigma_t$, es posible el siguiente doble encadenamiento

$$TMS_{i,d} = \Delta\sigma_t / \Delta\sigma_d * TMS_{i,c} * \Delta\sigma_c / \Delta\sigma_t \quad (34)$$

Luego se comparan los valores resultantes de las ecuaciones (33) y (34) y si son estadísticamente iguales se puede suponer que el método es consistente.

Los resultados de una experiencia piloto realizada a fines del año 1997 con esta técnica fueron positivos y negativos. Se consideró positivo que los encuestados pudieran desempeñarse mejor en sus respuestas en comparación con un estudio de valoración contingente. Respecto a la modificación al ejercicio de “apuesta estándar”, se consideró positiva la ganancia en realismo, puesto que todo tratamiento en la vida real siempre tiene una tasa de riesgo implícita. Como saldo negativo el doble encadenamiento mencionado en el párrafo anterior no funcionó, lo que dejó ciertas dudas respecto a la racionalidad de los individuos. En el caso del doble encadenamiento, al trabajar con un mayor número de valores estimados, el error total aumentó: de hecho, al multiplicarse los errores, tanto el error absoluto como el error porcentual aumentaron (ver Ortúzar (1994), Capítulo 2, para una comprensión sobre la propagación de errores).

El encadenamiento parece poseer el siguiente defecto de “circularidad”: cuando se hacen chequeos de consistencia entre estos resultados y resultados de disposición al pago obtenidos a través de intercambios riesgo - dinero, los mismos resultan ser inconsistentes, contradiciendo el supuesto de individuos racionales. El origen de los problemas de todas estas metodologías, que en alguna etapa incluyen el uso de valoración contingente, parece ser que al obtener valoraciones económicas se está dividiendo una cantidad pequeña de dinero por una cantidad muchísimo más pequeña, una probabilidad del orden de 1 en 100.000 o menor aún, lo que hace que el cociente sea muy sensible a cambios en la disposición al pago.

A tal punto es cierto lo anterior, que en un estudio realizado por Jones Lee & Loomes (1995) a fin de obtener la disposición al pago (DAP) por reducción en el nivel de riesgo de accidentes en el subterráneo londinense, se evitó preguntar la DAP aduciendo que al ser tan pequeño el denominador (es decir, el nivel de riesgo), pequeñas variaciones en la cantidad de dinero a pagar generarían muy grandes variaciones en el VRRF.

De ser cierto que los individuos encuentran más fácil realizar compromisos entre riesgo y riesgo que entre riesgo y dinero, podría concluirse en la siguiente alternativa:

- Realizar un estudio de VC o alguna técnica similar lo más robusta posible para obtener la disposición al pago por reducción de un riesgo específico bien entendido por el encuestado.

- Realizar estudios de riesgo – riesgo para valorar otros tipos de riesgos a partir del uso del encadenamiento.

Si bien el método de la cadena puede disminuir la carga cognitiva asociada a tener que ponerle precio a diferentes riesgos, en algún momento un riesgo tendrá que ser valorado por valoración contingente.

No se recomienda la aplicación de esta técnica para determinar el beneficio por reducir fatalidades a ser utilizado en evaluación social de proyectos.

Si llegase a existir un gran cuerpo de evidencia local en relación al valor de las reducciones de riesgo, este método en ese entonces podría ser útil.

3.1.2.5 Estudios de Elecciones Declaradas

En una encuesta de elecciones declaradas (ED) se presentan al individuo diversas opciones, cada una con valores distintos para los atributos que el modelador considera claves a la hora de elegir. Cada opción debe presentar ventajas en algunos atributos y desventajas en otros de manera tal que los individuos tengan que enfrentar compromisos. La idea de este método es que los individuos al declarar una elección “revelen” sus preferencias. Este método ha sido utilizado por Rizzi & Ortúzar (2003), Iraguen & Ortúzar (2004) y Hojman et al. (2005) a fin de estimar el valor de las reducciones de riesgo fatal en carreteras y calles urbanas de Chile. La estimación del VRRF mediante encuestas de ED es más compleja que en los casos anteriores, puesto que en ningún momento los encuestados colocan un precio a la valoración de un bien. No se describe en este informe cómo se estiman los modelos de elección discreta, puesto que se trata de un tópico por sí mismo, sobre el que existe abundantísima literatura (Ortúzar J. de D. 1994, Train K.E. 2009, Ortúzar J. de D. & Willumsen L.G. 2011). Simplemente explicaremos como se implementa este tipo de estudios.

Dado que las tres encuestas realizadas son similares, nos concentraremos en el trabajo de Rizzi & Ortúzar (2003). Esta encuesta tuvo por finalidad determinar la valoración que los conductores otorgan a la reducción de víctimas fatales en accidentes viales para viajes por la Ruta 68, que une Santiago, capital de Chile, y la conurbación de Valparaíso / Viña del Mar, el principal puerto del país y la segunda conurbación en cantidad de habitantes. Esta ruta tiene aproximadamente 120 km. La encuesta fue administrada a 342 personas durante el verano de 1999 – 2000. Debido a limitaciones presupuestarias, los encuestados fueron contactados en sus puestos de trabajo a partir de contactos establecidos con organismos públicos y empresas privadas de Santiago y Valparaíso / Viña del Mar, a condición de que dichas personas hayan viajado al menos una vez en dicha ruta en el año anterior a la encuesta. El ingreso familiar de estas

personas fue algo superior al ingreso familiar promedio de los hogares con vehículos y muy superior al ingreso familiar promedio de Chile, un resultado esperado dada la alta correlación entre posesión de vehículo e ingreso del hogar.

Se definió un contexto de viaje particular, creíble desde el punto de vista de los encuestados (Louviere J.J., Hensher D.A. et al. 2000). En particular, la situación de elección hipotética tiene que ser tal que la sensación de inseguridad vial se haga presente a fin de que la peligrosidad de las rutas sea un elemento que influya en la elección. Basado en los resultados de grupos focales y varias encuestas pilotos, se logró diseñar un formulario de encuesta realista. Se generaron varios contextos alternativos de viaje, variando la hora del día, el día de la semana, el motivo de trabajo y si se trataba de un viaje de ida o de vuelta. En todos los casos se trataba de un viaje que había que hacer, por lo que no había espacio para una opción de *no compra*.

La variable riesgo fue definida como el número de accidentes fatales anuales en los que al menos fallece una persona que viaje en automóvil liviano, excluyendo fatalidades de peatones y de usuarios de transporte público. Esta variable fue bien comprendida por las personas encuestadas y logró generar la sensación de inseguridad requerida para darle realismo a la encuesta. El nivel base de riesgo fue el que correspondía a la Ruta 68 y los cambios de niveles se explicaban a partir de ciertas obras menores de ingeniería que podían afectar la seguridad de manera marginal. Por lo tanto, los resultados obtenidos sirven para valorar pequeños cambios en la seguridad vial y no para valorar cambios mayores.

En cuanto al tratamiento de la variable riesgo como número de accidentes al año, se partió de la base que personas no se manejan con probabilidades objetivas, tal como las calcula un ingeniero vial, sino que la noción de riesgo se deriva un complejo proceso mental en el que las percepciones de riesgo y las actitudes hacia el riesgo juegan un papel relevante. La percepción sobre cuán segura es una ruta se debe a la propia experiencia de conducción así como de información recogida a través de los medios. Cuando los medios entregan información sobre accidentes viales, se reportan los accidentes ocurridos, la cantidad de fatalidades o de víctimas graves, frecuencia de accidentes, pero (casi) nunca probabilidades de accidentes. La frecuencia con que una ruta es noticia en los medios, ayuda a las personas a crearse una idea de la peligrosidad de determinadas rutas. De ninguna manera, se sugiere que las personas mantengan cuentas mentales de accidentes por ruta, pero si creemos que los elementos anteriores ayudan a moldear la percepción del nivel de peligrosidad de las rutas, y no así valores objetivos de probabilidades. El argumento anterior está en línea con el concepto de probabilidad subjetiva desarrollado por Anscombe & Aumann (1963). Estos autores muestran como individuos racionales pueden derivar probabilidades subjetivas sin referencia alguna a probabilidades objetivas. Así, Rizzi & Ortúzar (2006) sostienen que las personas pueden combinar sus propias percepciones de riesgo con información objetiva sobre frecuencia de accidentes a fin de determinar de su riesgo subjetivo de estar involucrado en un accidente. Como analistas, no es necesario conocer cuáles son las probabilidades subjetivas ni como se conforman, sólo nos basta que las personas puedan expresar sus preferencias en términos del

número de accidentes viales y la evidencia señala que esto es posible. Bronfman & Cifuentes (2003) muestran que el uso del auto privado es un riesgo bien entendido y, por lo tanto, es plausible suponer que los individuos pueden expresar sus preferencias en relación a la seguridad vial (Nash C.A. 1990). Así, en los tres estudios mencionados se decidió el uso de números de accidentes por año como variable proxy de los riesgos viales.

A continuación, se muestra el fraseo del texto introductorio para el caso de un viaje de Santiago a Valparaíso durante un fin de semana por un compromiso social:

“Usted debe viajar a la ciudad de Viña del Mar para atender un compromiso social. Este viaje presenta las siguientes características:

- tiene lugar durante un fin de semana normal (sin feriados extra);
- lo hace manejando su auto;
- lo paga enteramente usted (solo), incluido el peaje
- usted tiene que estar en Viña del Mar a más tardar a las 14:00 hrs. del día sábado;
- debe elegir entre dos rutas (ambas del tipo de la actual ruta 68 Santiago - Viña del Mar/Valparaíso), considerando los tres factores que siguen: valor del peaje, tiempo de viaje y accidentes fatales que afectan a quienes viajan en vehículos particulares.

El contexto está claramente definido, la persona que responde la encuesta es el conductor, quien se hace cargo de todos los costos. La seguridad está definida de manera tal que afecta a quien conduce; de esta manera, se genera un incentivo a pensar principalmente en el bienestar de uno mismo.

La Tabla 3-5 presenta un ejemplo de una situación de elección: el ejercicio de PD requiere que se elija una ruta entre un par de alternativas posibles. Este tipo de ejercicio fue realizado nueve veces por cada persona encuestada. En cada escenario de elección, los niveles de los atributos tiempo de viaje, peaje y seguridad varían de acuerdo a un diseño experimental especialmente diseñado a fin de maximizar la cantidad de información a extraer de la muestra.

Tabla 3-5 Una situación de elección típica

Situación de Elección N°	Ruta 1	Ruta 2
Tiempo de viaje	1 hora 30min	2 horas
Accidentes fatales	12	20
Peaje (USD)	8	5
	Elijo Ruta 1	Elijo Ruta 2

Fuente: Elaboración propia

El trabajo de Hojman et al. (2005) obtiene la disposición al pago por reducir tanto el número de víctimas fatales como el número de víctimas seriamente heridas para dos rutas de Chile: la Ruta 68 (250 encuestados) y la Ruta 5 (245 encuestados), entre Santiago y Rancagua, ciudad ubicada a 100km de Santiago. Iragüen & Ortúzar (2004) estimaron la disposición al pago por reducir el número de víctimas fatales en calles urbanas de Santiago (320 encuestados). Ambas encuestas han sido de naturaleza similar a la descrita anteriormente, pero fueron realizadas a través de una página web.

La Tabla 3-6 entrega los estimadores puntuales y los intervalos de confianza al 95%. Se utilizan los acrónimos VRRF para los valores por reducir una fatalidad y VSI para los valores por reducir un herido de gravedad. Por otro lado, R&O se refiere a Rizzi & Ortúzar (2003); I&O, a Iragüen & Ortúzar (2004); y HO&R a Hojman et al. (2005). Todos los valores han sido estimados en pesos chilenos del año correspondiente, ajustados por inflación a enero de 2005 según el precio de la UF y convertidos a dólares de enero de 2005 utilizando la tasa de cambio promedio que el Banco Central de Chile entrega³³.

Comparando R&O versus I&O, el VRRF decrece manera pronunciada. Este resultado es esperado debido a que las calles urbanas son más seguras que las rutas interurbanas para los automovilistas. Por otro lado, la comparación de los VRRF para la Ruta 68 entre R&O y HO&R es algo problemática. La última estima de manera conjunta el VRRF y el VSI, mientras que la primera sólo el VRRF. La teoría sugiere que cuando se valoran dos bienes en conjunto, el valor del *paquete* disminuye comparado con la valoración de ambos bienes por separado (Saelesminde K. 2003). También, entre la realización de la encuesta de R&O y la de H, O&R, la Ruta 68 fue mejorada de manera sustancial, incluyendo su seguridad. Estos dos efectos podrían explicar la abrupta caída en el valor del VRRF. Por último, un resultado inesperado fue el bajo monto del VRRF para la Ruta 5, dado que se trata de una de las rutas más peligrosas de Chile. Se esperaba un valor sustancialmente mayor que el correspondiente a las Ruta 68.

³³ Para actualizar a valores 2011 se deben multiplicar los valores por el factor 1.45 el cual considera tanto la inflación entre el año 2005 y 2011 como la diferencia del tipo de cambio (2005: 1USD=559.9CLP; 2011: 1USD=483.4CLP).

Tabla 3-6 Estimadores puntuales e intervalos de confianza al 95% de valores de reducciones de riesgo en base a modelos logit binarios

USD 2005	R&O¹	O&I²	HO&R – R68³	HO&R – R5⁴
VRRF (muerte)	773.920	290.382	305.220	301.868
Intervalo de Confianza 95% ⁵	660.779 – 948.861	263.370 – 324.147	227.133 – 340.677	201.023 – 398.183
VSI (herido de gravedad)			124,604	149,637
Intervalo de Confianza 95% ⁵			91,638 – 163,653	116,192 – 190,278
Tamaño Muestral	342	320	250	242

¹ Rizzi & Ortúzar (2003); ² Iragüen & Ortúzar (2004); ^{3,4} Hojman et al. (2005); ⁵ Intervalos de confianza calculados en base a Armstrong *et al* (2000).

La diferencia entre el VRRF y el VSI a partir de la encuesta de HO&R es bastante menor que la reportada en otros trabajos. Hojman et al. (2005) estiman el valor de evitar un herido grave en aproximadamente la mitad del valor de evitar una víctima fatal. Jones Lee et al. (1993), en un estudio pionero estimaron el valor de un herido grave en un 9,5 por ciento del valor del VRRF. Este valor corresponde a un promedio ponderado de varios valores clasificados como heridos de gravedad en el Reino Unido, mientras que nuestra clasificación de heridos graves se deriva a partir de lo que los encuestados consideran un herido grave. En rigor, la comparación podría no ser válida.

Para todos los valores estimados, sus correspondientes intervalos de confianza al 95 por ciento muestran un margen superior entre 1,4 y dos veces el valor del margen inferior; por lo tanto, ambos extremos se mantienen en el orden de magnitud, lo que para este tipo de análisis resulta ser una variabilidad moderada. Tampoco se observa gran variabilidad entre los resultados de las diferentes muestras.

Si comparamos estos resultados a nivel internacional (Evans A.W. 1994, EPA 1999, EPA 2010b), el VRRF en Chile resulta ser bajo. En primer lugar, el ingreso mensual personal en Chile es muy inferior al observado en países desarrollados. Segundo, la elasticidad de la utilidad en relación al consumo está íntimamente relacionada con la aversión al riesgo: a menor aversión al riesgo más cercano a uno se vuelve el primer valor. En particular, creemos que en Chile la aversión al riesgo de los automovilistas es menor que la de sus contrapartes en países desarrollados.

Por último, se destaca la importancia de conducir estudios locales a fin de estimar el valor de la seguridad vial. Si fuésemos a transferir valores estimados en países desarrollados podríamos cometer serios errores. Basándonos en Miller (2000), un estudio ampliamente citado, el valor a transferir a Chile (ajustado a precios de 2005³⁴) se ubicaría en un rango entre USD 747.000 y

³⁴ Para actualizar a valores 2011 se deben multiplicar los valores por el factor 1.45 el cual considera tanto la inflación entre el año 2005 y 2011 como la diferencia del tipo de cambio (2005: 1USD=559.9CLP; 2011: 1USD=483.4CLP).

USD 1.120.000. Estos valores calzan bien con los estimados por R&O para la Ruta 68 [USD 660.779 – USD 948.861], pero probablemente se deba a pura casualidad, especialmente si tenemos en cuenta que nuestra muestra tiene un ingreso personal promedio muy superior al que Miller le asigna a Chile para realizar la transferencia. Si, además, se comparan los valores de Miller con los otros valores nuestros, deja de haber traslape. El defecto del estudio de transferencia realizado por Miller radica, en parte, en no controlar por la aversión al riesgo.

El método de elecciones declaradas es el más promisorio de todos los métodos de cuestionarios. Existe un consenso entre los economistas al respecto (Louviere J.J., Hensher D.A. et al. 2000, McFadden D. 2005) y es una metodología cada vez más utilizada para valorar bienes intangibles o para realizar estudios de mercado prospectivos en relación al desarrollo de nuevos productos.

Como dificultad tiene asociado el grado de compromiso de las personas al responder la encuesta y el nivel de credibilidad de los resultados generados. En la medida que se logre generar contextos de elección que las personas encuestadas consideren realistas, la probabilidad de obtener resultados útiles para ser usado en evaluación social de proyectos aumentará.

3.1.2.6 Fortalezas y debilidades de cada método de estimación del VRRF -

Cuadro Resumen

A continuación se entrega una tabla que resume las fortalezas y debilidades de cada método de valoración descrito en las secciones anteriores.

Tabla 3-7 Fortalezas y debilidades de cada método de estimación del VRRF

	Fortalezas	Debilidades
Salarios Hedónicos	<p>Es una metodología basada en el uso de preferencias reveladas.</p> <p>Apropiado para proyectos públicos relacionados con seguridad laboral.</p>	<p>La extrapolación de los resultados de un estudio de salarios hedónicos a proyectos de mejora de calidad del aire y/o seguridad vial presenta notables desafíos no resueltos aún.</p> <p>Puesto que se trata de un método de preferencias relevadas, el modelador no tiene control sobre los datos.</p> <p>Los desafíos econométricos son relevantes.</p>
Valoración Contingente	<p>Se pregunta directo por la valoración del bien intangible de interés.</p> <p>El modelador puede aplicar técnicas de diseño estadístico.</p> <p>El análisis econométrico es muy sencillo.</p>	<p>Es un método de preferencias declaradas.</p> <p>Lo que aparenta ser su principal fortaleza es en rigor una debilidad: la pregunta simple y directa de la disposición al pago por determinado bien no transable no reproduce de manera adecuada los escenarios de decisión económica a los que las personas se enfrentan en su vida diaria. Por lo tanto, la carga cognitiva es alta y la calidad de las respuestas no es buena.</p>
Apuesta Estándar	<p>Relevantes para el área de medicina, en relación al tratamiento de pacientes que sufren severos efectos de morbilidad.</p>	<p>Es un método de preferencias declaradas.</p> <p>La extrapolación de los resultados de un estudio de apuesta</p>

	<p>Pregunta por compromisos entre diversos tipos de riesgos a la salud; no se pregunta por disposición al pago.</p> <p>El modelador puede aplicar técnicas de diseño estadístico.</p> <p>Su análisis econométrico es sencillo.</p>	<p>estándar a proyectos de mejora de calidad del aire y/o seguridad vial presenta notables desafíos no resueltos aún.</p> <p>Para arribar a valores monetarios de disposición al pago, se requiere que algún evento de morbilidad o fatalidad sea valorado mediante valoración contingente.</p>
Método de la Cadena	<p>Pregunta por compromisos entre diversos tipos de riesgos a la salud; no se pregunta por disposición al pago.</p> <p>El modelador puede aplicar técnicas de diseño estadístico.</p> <p>Su análisis econométrico es sencillo.</p>	<p>Es un método de preferencias declaradas.</p> <p>Para arribar a valores monetarios de disposición al pago, se requiere que algún evento de morbilidad o fatalidad sea valorado mediante valoración contingente.</p>
Elecciones Declaradas	<p>Permite generar contextos de elección realistas que replican situaciones cotidianas de compra de bienes.</p> <p>No se pregunta por disposición al pago, pero igualmente permite obtener valoraciones monetarias.</p> <p>Permite obtener varias respuestas por encuestado.</p> <p>El modelador puede aplicar técnicas de diseño estadístico.</p> <p>El análisis econométrico presenta alguna complejidad, pero existen varios programas que facilitan su realización.</p>	<p>Es un método de preferencias declaradas.</p> <p>Determinados bienes intangibles no son susceptibles de ser valorados por este método: por ejemplo, disposición al pago por cambio climático.</p>

Fuente: Elaboración propia

3.1.2.7 Resumen de la experiencia chilena en VRRF

La siguiente tabla muestra los resultados de los seis estudios de VRRF realizados en Chile. Los valores están en USD de 2004, actualizados por Puebla (2005)³⁵.

Tabla 3-8 Resumen de resultados de estudios chilenos de valoración de eventos de mortalidad

Enfoque	Estudio	Contexto	VRRF 2004 Miles USD ¹	VRRF 2004 Miles USD ²
Elección Declarada en contexto de seguridad vial	(Rizzi L.I. & Ortúzar J. de D. 2003)	Viajes interurbanos Ruta 68, N = 342	671	806
	(Iragüen P. & Ortúzar J. de D. 2004)	Viajes urbanos Santiago, N = 320	275	275
	(Hojman P., Ortúzar J. de D. et al. 2005)	Viajes interurbanos Ruta 68, N = 250	280	280
		Ruta 5, Santiago - Rancagua, N = 242	312	312
Valoración Contingente en contexto de muerte abstracta	(Prieto J.J. 2000)	Reducciones de riesgo de 1/1.000 por próximos 10 años, N = 345	919 - 1.199	856 – 1.116
	(Escobari J. 2000)	Reducción en riesgo de muerte entre los 70 y 80 años, N = 345	165 – 219	153 - 185
	(Subelman J.J. 2000)	Se ofrece producto que aumenta esperanza de vida N = 100	162 - 178	146 - 160

¹Estimaciones actualizadas al año 2011 según crecimiento del ingreso per-cápita. Basado en Puebla (2005)

²Estimaciones actualizadas al año 2011 según crecimiento de la UF. 1USD=CLP600. Basado en Puebla (2005).

N: tamaño muestral.

Fuente: Elaboración propia en base a Puebla (2005)

³⁵ Para actualizar a valores 2011 se deben multiplicar los valores por el factor 1.6 el cual considera tanto la inflación entre el año 2004 y 2011 como la diferencia del tipo de cambio (2004: 1USD=600CLP; 2011: 1USD=483.4CLP).

3.1.3 Uso del Valor de las reducciones de riesgo fatal en Evaluación Social de Proyectos - Práctica Internacional

La Tabla 3-9 muestra los valores por reducción de fatalidades utilizados oficialmente en evaluación social de proyectos de transporte por un conjunto de países³⁶. Se puede apreciar que hay una gran diversidad de valores y que no pareciera existir un valor típico. Resalta el valor utilizado en los EE.UU en relación a los demás países, por ser el mayor de todos. Este valor es casi cinco veces mayor que los valores oficiales utilizados en Francia y Singapur, países que ostentan los menores valores. La última columna de la Tabla 3-9 muestra cuál sería el VRRF si fuera transferido a Chile ajustando por poder de paridad de compra. El valor más bajo corresponde a la transferencia del valor de Singapur y Francia, mientras que el más alto, a EE.UU.

Tabla 3-9 VRRF oficiales utilizados en evaluación social de proyectos de transporte (Millones USD 2011, ajustados por poder de paridad de compra)

	VRRF	VRRF Transferido para Chile ¹
Alemania	1.41	0.54
Austria	3.30	1.21
Canadá	4.11	1.56
Dinamarca	1.46	0.53
EE.UU	6.03	1.86
Francia	1.31	0.56
Holanda	2.95	1.03
Noruega	3.76	0.97
Nueva Zelanda	2.19	1.14
Reino Unido	2.69	1.08
Singapur	1.31	0.34
Suecia	2.51	0.92

¹Este valor se calcula así: $VRRF(\text{Chile}) = VRRF(\text{país de referencia}) * IPP \text{ Chile} / IPP (\text{país de referencia})$; IPP: ingreso per cápita ajustado por poder de paridad de compra. Los datos de IPP ajustado por poder de paridad de compra se obtuvieron en <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.PP.CD>.

Fuente: New Zealand Ministry of Transport (2009).

El valor correspondiente a EE.UU fue derivado a partir del promedio de cinco valores del VRRF diferentes propuestos por cinco estudios de meta-análisis³⁷. Este valor se ajusta año tras año

³⁶ Está información fue recopilada por New Zealand Ministry of Transport (2009) a partir de un formulario enviado a los ministerios de transporte o sus equivalente de los países citados. Excluimos el valor correspondiente a Bélgica puesto que no es oficial. Este informe no explica el origen de los valores utilizados.

³⁷ Los cinco estudios de meta-análisis son los siguientes:

por el Departamento de Transporte del Gobierno Federal de los EE.UU, considerando el crecimiento del ingreso per cápita y la elasticidad del VRRF con respecto al ingreso. El valor correspondiente al Reino Unido se obtiene a partir del trabajo realizado por Jones Lee et al. (1983), mencionado en la sección 3.1.2.2. Este valor es ajustado año tras año por el Departamento de Transporte del respectivo país. El valor correspondiente a Nueva Zelandia se basa en un estudio de valoración contingente publicado en el año 1991 (Miller and Guria, 1991). Este valor se actualiza anualmente. El valor que corresponde a Suecia se basa en el estudio de Persson & Cedervall (1991) de valoración contingente. El valor correspondiente a Noruega proviene de un estudio de meta-análisis (Elvik R. 1993)³⁸. El valor de Alemania, Austria y Suiza se calcula como el valor del capital humano más la adición de un extra calculado a partir de las compensaciones que los jueces otorgan a las víctimas de accidentes fatales o los pagos que hacen las compañías de seguros (Trawen A., Maraste P. et al. 2002).

Por otro lado, en EE.UU, la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU ha actualizado el valor de las reducciones de riesgo fatal por prevenir una fatalidad a USD 7.4 millones³⁹ (EPA, 2010b). Este valor corresponde al promedio de la distribución Weibull que se ajustó a los valores reportados en 26 estudios considerados relevantes por la misma Agencia (Ver Tabla 3-10). Es curioso que de estos estudios, ninguno está relacionado con riesgos de muerte vinculados a calidad del aire: 21 estudios valoraron riesgos de muerte en los puestos de trabajo. De los cinco estudios de valoración contingente, tres están relacionados con riesgos de transporte (Jones Lee M., Hammerton M. et al. 1985, Miller T.R. & Guria J. 1991, Viscusi W., Maga et al. 1991) y los otros dos con riesgos en puestos de trabajo (Gegax et al. 1985) (Gerking S., M. de Haan et al. 1988). Por último, a nivel federal en los EE.UU, se utilizan valores diferentes del VRRF para valorizar proyectos que reducen riesgos de muerte por calidad del aire y proyectos que evitan muertes de tránsito.

En Canada, el VRRF recomendado para ser utilizado en evaluación social de cambios regulatorios que afecten la salud de las personas (Treasury Borad of Canada Secretariat, 2007)

Mrozek, Janusz R., et al. (2002). "What Determines the Value of Life? A Meta-Analysis." *Journal of Policy Analysis and Management*, 21.2 253-270., USD 2.6 Millones (USD 2008), USD 2.7 Millones (USD 2011).

Miller T.R. (2000). "Variations between Countries in Values of Statistical Life," *Journal of Transport Economics and Policy* 34(2), 169-188., USD 5.2 Millones (USD 2008), USD 5.4 Millones (USD 2011).

Viscusi W. K. (2004). "The Value of Life: Estimates with Risks by Occupation and Industry." *Economic Inquiry*, 42, 29-48., USD 6.1 Millones (USD 2008), USD 6.3 Millones (USD 2011).

Kochi I., Hubbell B., et al. (2006). An empirical Bayes approach to combining and comparing estimates of the value of a statistical life for environmental policy analysis. *Environmental and Resource Economics*, 34, 385-406., USD 6.6 Millones (USD 2008), USD 6.9 Millones (USD 2011).

Viscusi W. K. & Aldy J.E. (2003). The value of statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty* 27, 5-76., USD 8.5 Millones (USD 2008), USD 8.8 Millones (USD 2011).

³⁸ Trawen A., Maraste P., et al. (2002). International comparison of costs of a fatal casualty of road accidents in 1990 and 1999. *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 323-332. explica el origen del dato para Suecia y Noruega.

³⁹ Ajustado a USD 2011 este valor corresponde a 7.7 MUSD y transferido a Chile a 2.37 MUSD.

es de CAD 6.11 millones⁴⁰. Este valor fue producido por Chestnut et al. (1999) basado en una amplia revisión bibliográfica de estudios destinados a estimar el VRRF. En Australia, se recomienda un monto de AUD 3.5 millones⁴¹ (OBPR, 2008). Este valor se basa en un estudio realizado por Abelson (2007)⁴². La Unión Europea, por el contrario, no entrega un VRRF recomendado para valorar proyectos de inversión (European Commission Directorate General Regional Policy 2008).

⁴⁰ Ajustado a USD 2011 este valor corresponde a 7.0 MUSD y transferido a Chile a 2.67 MUSD.

⁴¹ Ajustado a USD 2011 este valor corresponde a 4.5 MUSD y transferido a Chile a 1.72 MUSD.

⁴² Este valor aplicaría de manera indistinta a proyectos de regulación, ya sean relacionados con calidad del aire, riesgos laborales o riesgos de transporte. De todas maneras, debe recordarse que Australia es un país federal.

Tabla 3-10 Estimadores de valoración de mortalidad considerados por EPA

Autor (Año)	País	Método estimación	VRRF [MUSD 2011]	VRRF Transferencia a Chile [MUSD 2011]
(Kniesner T.J. & J.D. Leeth. 1991)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	0.95	0.29
(Smith V.K. & C.C.S. Gilbert. 1984)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	1.09	0.33
(Dillingham A.E. 1985)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	1.51	0.47
(Butler 1983)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	1.77	0.55
(Miller T.R. & Guria J. 1991)	EE.UU.	Valoración Contingente	2.04	0.63
(Moore M.J. & W.K. Viscusi 1988)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	4.08	1.23
(Viscusi, Magat et al. 1991)	EE.UU.	Valoración Contingente	4.49	1.38
(Marin A. & H. Psacharopoulos 1982)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	4.63	1.85
(Gegax et al. 1985)	EE.UU.	Valoración Contingente	5.44	1.68
(Kniesner T.J. & J.D. Leeth. 1991)	Australia	Salarios Hedónicos	5.44	2.07
(Gerking S., M. de Haan et al. 1988)	EE.UU.	Valoración Contingente	5.58	1.72
(Cousineau, Lacroix & Girard 1988)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	5.98	1.84
(Jones-Lee 1989)	Reino Unido	Valoración Contingente	6.26	2.51
(Dillingham A.E. 1985)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	6.34	1.97
(Viscusi W.K. 1978, Viscusi W.K. 1979)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	6.80	2.09
(Smith R.S. 1976)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	7.62	2.35
(Smith V.K. 1983)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	7.75	2.39
(Olson C.A. 1981)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	8.57	2.64
(Viscusi W.K. 1981)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	10.75	3.31
(Smith R.S. 1974)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	11.84	3.65
(Moore M.J. & W.K. Viscusi 1988)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	11.97	3.69
(Kniesner T.J. & J.D. Leeth. 1991)	Japón	Salarios Hedónicos	12.52	5.27
(Herzog & Schlottman 1987)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	14.96	4.61
(Leigh J.P. & R.N. Folsom 1984)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	15.92	4.90
(Leigh J.P. 1987)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	17.15	5.28
(Garen J. 1988)	EE.UU.	Salarios Hedónicos	22.18	6.83

Fuente: EPA (2010b)

3.2 Cálculo del Capital Humano – Enfoque *Ex Post*

Como se mencionó en la Sección 3.1.1.10, un concepto alternativo que suele utilizarse para determinar el valor económico de prevenir una fatalidad consiste en calcular los ingresos que una persona deja de generar por su muerte prematura (método de capital humano). A pesar de que en dicha sección se estableció de que este método carece de sustento microeconómico ya que ignora las preferencias de individuos racionales por mayor seguridad, además de otras consideraciones que finalizan con la recomendación de no utilizar este método para la valoración de reducciones de riesgo vital, en el presente capítulo se detalla la metodología y los resultados de este cálculo para las características demográficas y económicas de Chile para ser tomados como valores de referencia.

Para el cálculo del valor de capital humano se siguió la metodología establecida por el Ministerio de Desarrollo Social (2011) por lo que los resultados de valores calculados en el presente estudio son muy similares a lo establecido por este documento explicándose las diferencias debido a pequeñas variaciones entre datos utilizados. Adicionalmente, el presente estudio actualiza los valores de capital humano a Noviembre 2011 mientras que los valores reportados por Ministerio de Desarrollo Social (2011) están actualizados a Diciembre 2010.

A continuación se presenta la metodología de cálculo, la información utilizada y los resultados de los valores de capital humano según sexo y edad.

3.2.1 Metodología

El cálculo del valor de capital humano, de ahora en adelante CH, es realizado según género (femenino y masculino) y según edad (0 a 100 años) según la siguiente ecuación:

$$CH = \sum_{s=h,m} \sum_{a=0}^v R_{a,s} \times \sum_{n=a}^v \frac{P_{a,s}(n) \times E_s(n) \times I_s(n) \times (1+T)^{n-a}}{(1+r)^{n-a}}$$

Donde,

- CH : Capital Humano promedio de la población chilena
- a : Edad (0..100 años)
- s : Género (hombre (h) o mujer (m))
- n : Año de estimación de CH para el individuo de edad a ($n \geq a$)
- $R_{a,s}$: Razón de la población total nacional de género s y edad n
- $P_{a,s}(n)$: Probabilidad de que una persona de género s este vivo a la edad n
- $E_s(n)$: Probabilidad de que una persona de género s este empleada a la edad n
- $I_s(n)$: Promedio del Ingreso Anual de una persona empleada de género s y edad n .

- T : Tasa de aumento anual de las remuneraciones.
 V : Edad máxima de la población (100 años).
 r : Tasa Social de Descuento

La ecuación recién descrita es equivalente a la ecuación simplificada que se presentó en la Sección 3.1.1.10 ($CH = \sum_{t=0}^T \frac{I_t P_t e_t}{(1+r)^t}$) a diferencia que a esta última se le agrega el termino que incluye la tasa de aumento anual de las remuneraciones (T).

3.2.2 Información Utilizada

Para utilizar la ecuación presentada en la sección anterior se requiere obtener datos de mortalidad, población total y ocupada e ingreso medio anual de la población chilena los cuales fueron obtenidos todos ellos a partir de la encuesta CASEN 2009 exceptuando los datos de estadísticas de mortalidad que fueron obtenidos a partir de INE (2009).

3.2.2.1 Mortalidad

La probabilidad de que una persona de género s este vivo a la edad n se obtiene a partir de la siguiente formula.

$$P_{a,s}(n) = \prod_{j=a}^n \left(1 - \frac{M_{j,s}}{Pob_{j,s}} \right)$$

Donde,

- $M_{j,s}$: Numero de muertes (año 2009) para la edad j y genero s .
 $Pob_{j,s}$: Población nacional (año 2009) para la edad j y genero s .

Para este cálculo se utilizaron los datos de mortalidad del año 2009 entregados en el Informe Anual de Estadísticas Vitales (INE 2009). Estos valores junto con los valores de la probabilidad de estar vivo a la edad de $j+1$ dado que se tiene la edad j $\left(1 - \frac{M_{j,s}}{Pob_{j,s}} \right)$ se presentan en el Anexo V, Tabla 8-1 y Tabla 8-2 respectivamente.

3.2.2.2 Población

Los datos de población que interesan corresponden a la población total de Chile y la población ocupada (según género y edad en ambas informaciones). La población total nacional según sexo y edad se obtuvo a partir de la Encuesta CASEN 2009. Los valores se pueden apreciar en el

Anexo V, Tabla 8-3. Para obtener la población ocupada, la información original utilizada también proviene de CASEN 2009 que fue trabajada incluyendo algunos supuestos que son explicados a continuación.

Para obtener la población ocupada se consideró solo la población mayor a 15 años, suponiendo que los menores de esa edad no obtienen ingresos ni realizan actividades productivas⁴³.

Para obtener la población ocupada se dividió a la población en⁴⁴:

- ✓ **Población Empleada:** Corresponde a aquellas personas que respondieron “Si” a las preguntas O1, O2 y O3 de CASEN 2009.
O1: La semana pasada, ¿trabajó al menos una hora sin considerar los quehaceres del hogar?
O2: ¿Aunque no trabajó la semana pasada, ¿realizó alguna actividad?
O3: ¿Aunque no trabajó la semana pasada, ¿realizó alguna actividad?
En el Anexo V, Tabla 8-4 se presenta la Población Empleada.
- ✓ **Población Desocupada:** Corresponde a aquellas personas que respondieron “Si” a la pregunta O4 de CASEN 2009.
O4: ¿Buscó trabajo remunerado en las últimas cuatro semanas?
En el Anexo V, Tabla 8-5 se presenta la Población Desocupada.
- ✓ **Población Inactiva:** Las personas que respondieron “No” a todas las preguntas anteriores se consideran como población inactiva, ya que no trabajan ni buscan trabajo. La Población Inactiva se desagrega en **Inactiva con Labores Productivas**, **Inactiva con Salario de Reserva** e **Inactiva Sin Labores Productivas** según la respuesta a la pregunta O6 de CASEN 2009.
O6: ¿Por qué no buscó trabajo en las últimas cuatro semanas?
La siguiente tabla muestra las respuestas posibles a la pregunta O6 y su respectiva clasificación.

⁴³ CASEN 2009 clasifica que a partir de esa edad la población está en edad laboral.

⁴⁴ Cabe destacar que la suma de cada una de estas desagregaciones sumado con la población de los menores a 15 años corresponden a la población total nacional.

Tabla 3-11 Clasificación Inactivos según respuesta a pregunta O6 de CASEN 2009

Respuesta a pregunta O6: ¿Por qué no buscó trabajo en las últimas cuatros semanas?	Clasificación
Consiguió trabajo, empezará en los próximos 30 días	(2)
Está esperando resultado de gestiones ya emprendidas	(3)
No tiene con quien dejar los niños	(1)
No tiene con quien dejar a adultos mayores de la casa	(1)
No tiene con quien dejar a un postrado, discapacitado o enfermo	(1)
Un familiar se opone	(2)
Quehaceres del hogar	(1)
Busca cuando realmente lo necesita o cuando ha sido necesario	(2)
No tiene dinero para cubrir los costos de buscar trabajo	(3)
Piensa que nadie le dará trabajo	(3)
No cuenta con la capacitación requerida para trabajar	(3)
Las reglas y horarios de los trabajos no le gustan	(2)
Ofrecen sueldos muy bajos	(2)
Tiene trabajo esporádico	(2)
Se aburrió de buscar	(3)
Enfermedad crónica o invalidez	(3)
Estudiante	(3)
Jubilado(a), montepiada o pensionada	(3)
Rentista	(2)
No tiene interés en trabajar	(2)
Otra razón	(3)

(1) Inactivos con Labores Productivas; (2) Inactivos con Salario de Reserva; (3) Inactivos sin Labores Productivas

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social (2011) en base a CASEN 2009

En el Anexo V, Tabla 8-6, Tabla 8-7 y Tabla 8-8 se presenta la Población Inactiva con Labores Productivas, Población Inactiva con Salario de Reserva y la Población Inactiva sin Labores Productivas respectivamente.

A partir de esto, la Población Ocupada corresponde a la suma entre la Población Empleada, la Población Inactiva con Labores Productivas y la Población Inactiva con Salario de Reserva. En el Anexo V, Tabla 8-9, se presenta la población ocupada finalmente utilizada para el cálculo del valor de CH.

Se asume que toda la Población Ocupada, aunque realmente no posea remuneración, recibe en promedio el ingreso medio anual correspondiente a su género y edad.

De esta manera, el término $E_s(n)$ queda definido como:

$$E_s(n) = \frac{PobO_{s,n}}{Pob_{s,n}}$$

Donde,

$E_s(n)$: Probabilidad de que una persona de género s este empleada a la edad n

$PobO_{s,n}$: Población ocupada de edad n y género s al año 2009

$Pob_{s,n}$: Población total de edad n y género s al año 2009

3.2.2.3 Ingreso Medio Anual

Para estimar el Ingreso Medio Anual según género y edad se utilizaron directamente los valores reportados por Ministerio de Desarrollo Social (2011). Estos valores fueron estimados a partir de la categoría “Ingreso del Trabajo”⁴⁵ de la encuesta CASEN 2009 incluyendo solo los ingresos provenientes del trabajo formal (se incluyen solo trabajadores que poseen contrato o que entregan boleta por sus servicios).

En la encuesta CASEN 2009, el sueldo declarado por el entrevistado corresponde al sueldo liquido mensual por lo que Ministerio de Desarrollo Social (2011) realiza el trabajo de sumarle a este valor los descuentos por leyes sociales (AFP y previsión de salud) utilizando finalmente el sueldo bruto a partir del sueldo liquido declarado. Para mayor información revisar Ministerio de Desarrollo Social (2011).

El Ingreso Medio Anual según género y edad ($I_s(n)$) se presenta en el Anexo V, Tabla 8-10.

3.2.2.4 Otras consideraciones

La tasa de aumento anual de las remuneraciones (T) se obtuvo, al igual que en Ministerio de Desarrollo Social (2011), del promedio de crecimiento del índice real de remuneraciones desde el año 2000 a 2010 información obtenida a partir de INE ($T \approx 0.02$). Por su parte, la tasa social de descuento utilizada corresponde a la publicada por MIDEPLAN en su documento “Precios Sociales para la Evaluación de Proyectos” ($r = 0.06$) (MIDEPLAN 2011).

⁴⁵ Ingreso que obtienen los ocupados en su ocupación principal por concepto de sueldos y salarios, ganancias provenientes del trabajo independiente y autoprovisión de bienes producidos por el hogar.

3.2.3 Resultados

Los valores de CH fueron calculados según género para el año 2009 entregando los siguientes resultados:

Tabla 3-12 Valor de Capital Humano (\$2009)

Genero	Valor Capital Humano (\$2009)
Hombre	69,133,951
Mujer	59,346,225
Total⁴⁶	64,060,411

Fuente: Elaboración propia

Estos valores se actualizaron a Noviembre de 2011 utilizando el aumento del índice real de remuneraciones entre el año base (2009) y Noviembre de 2011 entregando un factor de actualización de 1.05. Los resultados actualizados a Noviembre 2011 se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-13 Valor de Capital Humano (Actualizado a Noviembre 2011)

Genero	Valor Capital Humano	
	\$ de 2011	UF⁴⁷
Hombre	72,715,090	3,273
Mujer	62,420,359	2,810
Total	67,378,741	3,033

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes figuras muestran el valor de CH según edad y sexo. El detalle de los valores presentados en las figuras que siguen se presenta en el Anexo VI, Tabla 8-11 y Tabla 8-12.

⁴⁶ Calculado como promedio ponderado por población, considerando población femenina igual a 8,608,364 y población masculina igual a 7,998,643 (CASEN 2009).

⁴⁷ Valor de la UF = 22,213.43 (30 de Noviembre 2011)

Figura 3-3 Valor de Capital Humano según Edad y Género (\$ de 2011)

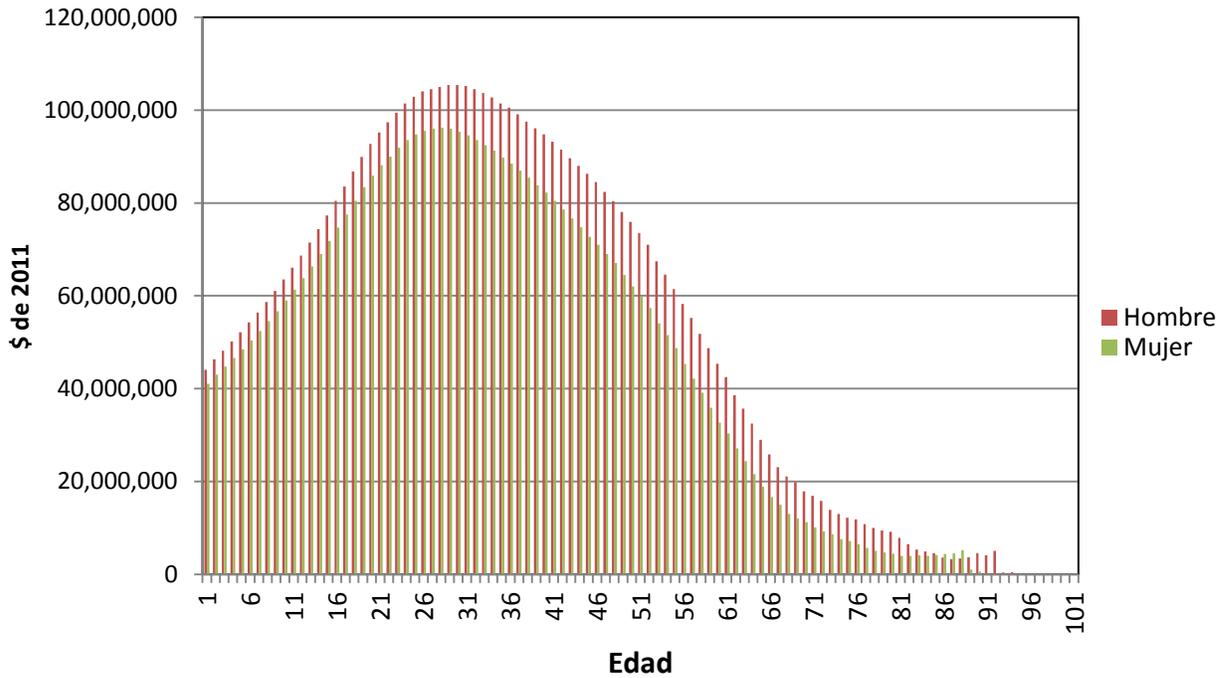
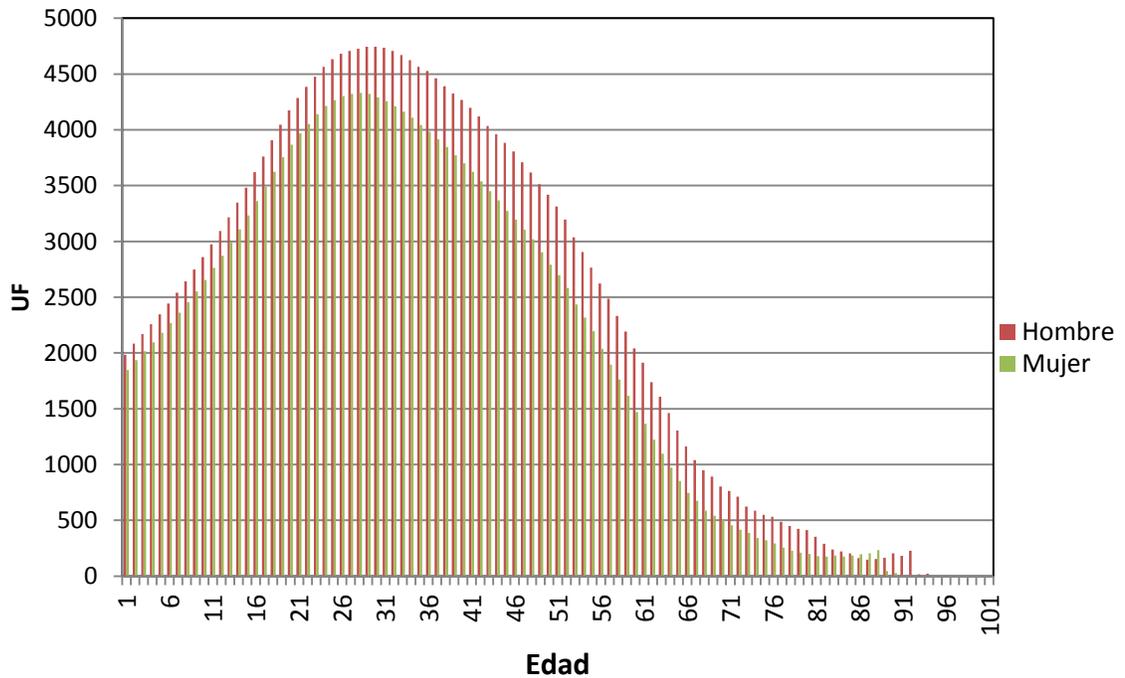


Figura 3-4 Valor de Capital Humano según Edad y Género (UF)



3.3 Conclusiones y Recomendaciones

- ✓ A partir del análisis microeconómico, el método de la disposición al pago resulta ser el correcto para valorar los beneficios asociados a proyectos que reducen riesgos de muerte. Este método es teóricamente superior al método de capital humano, cuyo sustento esta dado por criterios de contabilidad nacional, sin tener en consideración cuestiones relacionadas con las preferencias individuales por mayor seguridad.
- ✓ A partir de la revisión de la práctica internacional en análisis costo-beneficio social de proyectos o regulaciones destinadas a reducir riesgos de muerte, la mejor práctica internacional se basa en utilizar el método de la disposición al pago por sobre métodos alternativos como el capital humano o métodos basados en pago de compensaciones a familiares de víctimas fatales efectuados por compañías de seguro o determinados por las cortes.
- ✓ Dado que la gran mayoría de los estudios de valoración de reducciones de riesgos de muerte basados en el método de la disposición al pago ha sido realizada en países desarrollados, su extrapolación a Chile presenta un notable desafío.
- ✓ Existe evidencia local sobre el valor de las reducciones de riesgo fatal. Si cada estudio mencionado es igualmente ponderado, la evidencia local sugiere valores aproximados del valor de prevenir una fatalidad en el entorno de los USD 400.000. La evidencia que entregan estos estudios debe ser mirada con cautela, puesto que la selección de personas se basó en métodos no aleatorios; es decir, están basados en un muestreo por conveniencia.
- ✓ La experiencia chilena sugiere que los valores locales de disposición al pago son menores que los valores internacionales extrapolados a Chile mediante métodos de transferencia.
- ✓ Se recomienda la realización de dos estudios basados en muestras aleatorias representativas del universo de personas del país. Uno de los estudios debería valorar reducciones de riesgos de muerte por efectos de la calidad del aire y el otro estudio, reducciones de riesgos de muerte por accidentes de tránsito.
- ✓ En cuanto a la recomendación del presente estudio para adoptar un valor oficial del valor de las reducciones de riesgo fatal hasta tanto se hayan realizado estudios locales de envergadura, es calcular este valor según la siguiente fórmula (ecuación (20) en la Sección 3.1.1.11).

$$VRR \approx \frac{CH}{\varepsilon_U^I}$$

- ✓ Ello requiere contar con dos valores, el valor del capital humano (CH) y el valor de la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso. En base a criterio de experto, este valor a nivel país sería 0.4⁴⁸. Así el beneficio por evitar una fatalidad sería 2.5 veces el valor del capital humano. Con este criterio, se obtendría un VRRF de $3,133 \text{ UF} * 2.5 = 7,833 \text{ UF}$, donde el valor de 3.133 UF fue estimado por (Ministerio de Desarrollo Social 2011) o de $3,033 \text{ UF} * 2.5 = 7,583 \text{ UF}$, donde el valor de 3,033 UF fue calculado por el presente estudio.

Con respecto al valor 0.4 recomendado por el presente estudio es importante comentar que, a pesar de que en las secciones anteriores se ha mencionado que los estudios reportan elasticidades con respecto al ingreso entre 0.1 y 0.2, estos corresponden a muestras convenientes, no aleatorias, con sobre-representación de personas de medianos y altos ingresos. En tal sentido, suponer un valor de la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso derivado a partir de la división entre el valor promedio de los valores por reducción unitaria de fatalidad en Chile y el valor del capital humano ($0.36 = 3133 / 8600$), presentaría un sesgo. Por lo tanto, *a priori* tal elasticidad debería ser mayor a 0.36. Según nuestro criterio de experto, este valor estaría contenido en un posible rango entre 0.3 y 0.5. Si suponemos que el valor verdadero distribuye uniforme entre estos dos extremos, nuestra recomendación es adoptar un valor de 0.4, lo que equivale a multiplicar por 2.5 el valor del capital humano.

⁴⁸ Según DeNavas-Walt et al. (2007), la mediana de ingresos de un trabajador varón en los EE.UU, en el año 2006 ascendía a USD 42.261. Supongamos que una persona disponga de este ingreso a lo largo de 45 años de actividad laboral y descontemos el paso del tiempo a una tasa de 0.04. Haciendo un cálculo muy grueso, obtenemos un valor del capital humano igual a USD 788.707. Este valor dividido por el VRRF promedio y por el VRRF percentil 50 de los valores considerados por EPA (2009) (y reportados en nuestra Tabla 3-10), resulta ser respectivamente 0,12 y 0,14. Dado que en Chile el ingreso per cápita es menos que el de EE.UU, conservadoramente se puede suponer que ε_U^I este en el orden de 0,4.

4. Análisis de los efectos en salud de los contaminantes PM_{2.5}, SO_x y NO_x y elaboración de modelo de daños marginales

A continuación se presenta el análisis de los efectos en salud asociados a la exposición a los contaminantes PM_{2.5}, SO_x y NO_x el cual finaliza con la selección de las funciones dosis respuesta que deben ser utilizadas en la elaboración de AGIES que consideren el análisis de estos contaminantes. Así mismo y en base a esta selección es que se desarrolla el modelo computacional que calcula los daños marginales para cada contaminante a nivel comunal. Los resultados que se presentan en el presente informe corresponden a un análisis regional mientras que la información para las 356 comunas de Chile se encuentra en las planillas de cálculo anexas al estudio.

El análisis de los efectos en salud asociados a la exposición, tanto de corto y largo plazo, a los contaminantes PM_{2.5}, SO_x y NO_x fue realizado a partir de tres documentos de la EPA los cuales realizan una revisión acabada y actualizada de los estudios epidemiológicos, toxicológicos y clínicos que analizan los efectos a la salud humana que pueden ser causados por altas concentraciones de estos contaminantes⁴⁹. Estos documentos establecen finalmente la existencia o no existencia de evidencia suficiente para establecer causalidad entre la exposición a los contaminantes y los efectos en salud humana, conclusión que nos permite determinar qué efectos debemos considerar para la selección de funciones dosis respuesta. Los documentos analizados son los siguientes:

- ✓ (EPA 2009) Integrated Science Assessment for Particulate Matter: Final Report. Research Triangle Park, NC, US Government.
- ✓ (EPA 2008a) Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen — Health Criteria. Research Triangle Park, NC, U.S. Environmental Protection Agency.
- ✓ (EPA 2008b) Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria. Research Triangle Park, NC, U.S. Environmental Protection Agency.

Una vez determinados los efectos a la salud humana que poseen suficiente evidencia como para establecer una relación causal con la exposición a los contaminantes, la selección de las funciones dosis respuesta se realizó en base a la recopilación de los valores de riesgo unitario para diferentes contaminantes realizada por la EPA en el documento Environmental Benefits

⁴⁹ Los documentos EPA revisados corresponden a documentos que ya han realizado un compilado de la información existente, confiable y actualizada sobre los estudios epidemiológicos, clínicos y toxicológicos a nivel mundial por lo que los convierte en documentos suficientes para ser revisados en la búsqueda de la selección de los efectos que poseen suficiente evidencia de causalidad.

Mapping and Analysis Program, BENMAP⁵⁰ (EPA 2010a) que se encuentra actualizado al año 2010, a las funciones dosis respuesta nacionales disponibles y a los criterios de selección de funciones dosis respuesta (ver Sección 103) establecidos por el propio consultor.

Con respecto al contaminante PM_{2.5}, este ya fue analizado en el documento guía de referencia para la elaboración de AGIES (GreenLabUC 2011), sin embargo, el análisis realizado en dicho documento se repite en el presente estudio con el objetivo de mantener una coherencia de presentación y que el presente documento contenga toda la información relevante al momento de tomar decisiones de que efectos y contaminantes incluir en la elaboración de AGIES nacionales.

Lamentablemente existen efectos específicos los cuales no poseen información para calcular su tasa de incidencia y otros que no poseen información para valorizarlos económicamente, por lo que las funciones dosis respuesta para estos efectos son publicadas en el presente informe pero finalmente su utilización no es incluida en el cálculo del daño marginal.

4.1 Material Particulado Fino (PM_{2.5})

Dentro del material particulado, la fracción más fina (PM₁₀, PM_{2.5} e incluso más pequeñas, como PM₁) ha sido consistentemente asociada a impactos en salud. Aunque los mecanismos fisiológicos de los efectos de PM₁₀ aun no son comprendidos cabalmente, cientos de estudios epidemiológicos realizados en diferentes partes del mundo han mostrado efectos en poblaciones diversas y en diferentes grupos de edad. Una revisión exhaustiva se encuentra en el documento de Criterios de la USEPA (EPA 2004, EPA 2006) y en otros estudios y reportes recientes (NRC 2004, AIRNET 2005, Pope & Dockery 2006, EPA 2009)

También existe evidencia de que los estratos socio-económicos más bajos son más susceptibles a los efectos del material particulado (O'Neill, Jerrett et al. 2003, Bell, O'Neill et al. 2005). En nuestro país también se han encontrado efectos más importantes en los estratos con nivel de menor de educación. (Cifuentes, Vega et al. 1999). Estos patrones son explicados por varias razones, la primera de ellas tiene relación con la exposición a la contaminación; los estratos socio-económicos más bajos poseen una mayor exposición a la contaminación por trabajar o habitar en sectores de mayor contaminación. La segunda razón está relacionada con la mayor vulnerabilidad que poseen los estratos socio-económicos bajos debido a la falta de educación sobre la contaminación, menor acceso a la salud y posiblemente también debido a la menor calidad de vida que estos poseen (por ejemplo, malas condiciones alimenticias).

⁵⁰ BenMap es un programa computacional desarrollado por la EPA que tiene por objetivo estimar el impacto en salud y los beneficios económicos que ocurren cuando las poblaciones experimentan cambios en la calidad del aire. Este programa contiene una recopilación actualizada (Agosto 2010) de funciones dosis respuesta las cuales son utilizadas en la etapa de cuantificación del cambio de efectos provocados por el cambio en la calidad del aire.

Es importante explicitar que los impactos en la salud, se pueden caracterizar de distintas maneras. Primero es si el impacto se genera a nivel de morbilidad (generalmente medido en consultas medicas) o mortalidad, luego a si este efecto es producto de una exposición de corto plazo (concentración diaria) o si esta es a largo plazo (concentración anual) y finalmente a la fracción de PM medida. Los estudios nacionales recientes para medir el riesgo por exposición a PM no son muchos, ninguno considera MP_{10-2.5}, y tampoco la exposición a largo plazo. En la Tabla 4-1 se presenta un resumen de los recientes estudios nacionales mientras que en la Tabla 4-2 se presentan las causas y funciones dosis respuesta especificas que fueron documentadas en estos estudios para el contaminante PM_{2.5}.

Tabla 4-1 Estudios Epidemiológicos Nacionales sobre el impacto producto del MP

Estudio	Tipo de Impacto	Tipo de exposición	Fracción MP	Ciudad
(Román A, Prieto C et al. 2009)	Morbilidad	Corto plazo	MP ₁₀ y MP _{2.5}	Santiago
(Cakmak, Dales et al. 2007)	Mortalidad	Corto plazo	MP ₁₀	Santiago
(Cakmak, Dales et al. 2009)	Morbilidad	Corto plazo	MP _{2.5}	Santiago
(Dales, Cakmak et al. 2010)	Morbilidad	Corto plazo	MP ₁₀ y MP _{2.5}	Santiago
(Dales, Cakmak et al. 2009)	Morbilidad	Corto plazo	MP ₁₀ y MP _{2.5}	Santiago
(Sanhueza, Díaz et al. 2007)	Mortalidad y Morbilidad	Corto Plazo	MP ₁₀	Temuco

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-2 Incremento del Riesgo Relativo (PM2.5) según causa especifica de Estudios Epidemiológicos Nacionales

Estudio	Tipo de exposición	Tipo de Impacto	Edad	Inc RR por 10 ug/m ³ PM _{2.5} (IC 95%)			Ciudad
(Román A, Prieto C et al. 2009)	Corto plazo	Visitas Salas de Urgencia - Todas CVD	All	17%	Sin Información		Santiago
(Cakmak, Dales et al. 2009)	Corto plazo	Visitas Salas de Urgencia - Todas	All	5.3%	(4.0%	6.6%)	Santiago
		Visitas Salas de Urgencia - Todas RSP	All	8.5%	(6.5%	10.5%)	Santiago
(DALES, CAKMAK et al. 2010)	Corto plazo	Admisiones Hospitalarias - Trombosis Venosa	<64	1.5%	(0.4%	2.9%)	Santiago
			65+	3.6%	(0.4%	8.1%)	Santiago
		Admisiones Hospitalarias - Embolia Pulmonar	<64	2.1%	(1%	3.4%)	Santiago
			65+	3.4%	(0.8%	6.1%)	Santiago
(Dales, Cakmak et al. 2009)	Corto plazo	Admisiones Hospitalarias - Dolor de Cabeza (Migraña)	All	5.0%	(0.0%	8.4%)	Santiago

Fuente: Elaboración propia

Debido a lo limitado de los antecedentes nacionales, se considera la referencia internacional, debido al más alto nivel de antecedentes. En particular, la USEPA ha encargado desde hace

años numerosas investigaciones, que han permitido determinar los diferentes tipos de impactos, de las distintas fracciones de PM y considerando exposición tanto a corto como a largo plazo.

En lo que sigue, se revisa la evidencia existente que fue recopilada por la USEPA en el reciente reporte final del Análisis Científico Integrado para el Material Particulado (EPA 2009) el cual contiene un análisis de los impactos a la salud tanto en mortalidad como morbilidad, con impactos tanto a largo plazo como a corto plazo y considerando diferentes tamaños de partículas de material particulado ($PM_{2.5}$ y $PM_{10-7.5}$) y que finaliza concluyendo sobre la evidencia existente hasta el momento de asociación entre material particulado en la atmosfera y eventos de mortalidad y morbilidad (asociación causal, asociación probablemente causal, asociación sugerente o en su defecto asociación inadecuada). Estas conclusiones también serán presentadas en las siguientes secciones. En el presente estudio nos centraremos en los efectos y evidencia de causalidad de la fracción fina de material particulado ($PM_{2.5}$) mientras que si se desea profundizar en la fracción $PM_{10-7.5}$, se recomienda revisar el documento guía de referencia para la elaboración de AGIES (GreenLabUC 2011).

En base a la evidencia declarada por el documento de la EPA (2009) se recomendará el uso de funciones dosis respuesta de efectos que posean una asociación causal o probablemente causal con las concentraciones de material particulado fino ($PM_{2.5}$) en el ambiente.

4.1.1 Corto Plazo

4.1.1.1 Morbilidad

EPA (2009) reporta, en base a numerosos estudios epidemiológicos, que existe suficiente evidencia para concluir una **asociación causal** entre la exposición al corto plazo a $PM_{2.5}$ y morbilidad cardiovascular con la mayoría de los estudios reportando incrementos en el riesgo entre 0.4 y 3.4% por cada 10 $\mu g/m^3$ de incremento en la concentración de $PM_{2.5}$. Predominantemente las enfermedades que se encuentran asociadas a la exposición de corto plazo de $PM_{2.5}$ corresponden a IHD, CHF y CVD.

Con respecto a la morbilidad respiratoria, EPA (2009) concluye en base a los estudios epidemiológicos, de exposición humana controlada y toxicológicos, el amplio rango de respuestas respiratorias asociadas a la concentración de $PM_{2.5}$, y aunque los resultados de estos no son completamente consistentes y coherentes a través de los estudios, la evidencia es suficiente para concluir que existe una relación **probablemente causal** entre la exposición al corto plazo a $PM_{2.5}$ y morbilidad respiratoria. Las asociaciones positivas con la exposición de corto plazo de $PM_{2.5}$ que se declaran están principalmente relacionadas con admisiones

hospitalarias por COPD (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) e infecciones respiratorias y visitas a las salas de emergencia por causas respiratorias.

4.1.1.2 Mortalidad

Según la EPA (2009) existe suficiente evidencia para concluir una **asociación causal** entre PM_{2.5} y mortalidad a corto plazo a las concentraciones actuales en EE.UU. La magnitud del aumento del riesgo encontrada por la EPA (2009) va desde 0.29 a 1.21% por cada 10ug/m³ de PM_{2.5}. En general, los impactos se producen para las concentraciones del mismo día o del día anterior (rezago 0 o 1). La asociación es robusta a una serie de factores confundentes pero es sensible a ajustes por nivel socioeconómico (específicamente, los estimadores de riesgo aumentan cuando el porcentaje de población con aire acondicionado disminuye, lo que puede ser una representación de la tasa de ventilación de las viviendas).

4.1.2 Largo Plazo

4.1.2.1 Morbilidad

En cuanto a la incidencia del PM_{2.5} en la morbilidad de largo plazo, en base a numerosos estudios de cohorte recabados en EPA (2009), la EPA concluye que existe suficiente evidencia, tanto epidemiológica como toxicológica, para concluir que existe una **asociación causal** entre MP_{2.5} y morbilidad cardiovascular a las concentraciones actuales en EE.UU. A su vez, los estudios disponibles sugieren asociación **probablemente causal** entre MP_{2.5} y efectos respiratorios tales como disminución en el crecimiento de la función pulmonar, aumento en los síntomas respiratorios y desarrollo de asma.

Con respecto a los efectos en el sistema reproductivo de hombres y mujeres y en el desarrollo infantil pre y post natal, los estudios toxicológicos y epidemiológicos disponibles entregan una evidencia sugestiva de una causal relación con la exposición a largo plazo de MP_{2.5} (EPA 2009).

Por último, múltiples estudios epidemiológicos han mostrado una asociación positiva entre PM_{2.5} y mortalidad por cáncer al pulmón pero estos estudios no han establecido la relación entre PM_{2.5} y la incidencia del cáncer al pulmón. Además, estudios toxicológicos con animales han examinado la potencial relación con el cáncer pero no se han centrado en tamaños específicos de partículas de PM. Por lo mismo, la declaración de la EPA (2009) con respecto a la evidencia para la relación entre cáncer, mutagenicidad y genotoxicidad y la exposición de largo plazo de PM_{2.5} es solo sugerente.

4.1.2.2 Mortalidad

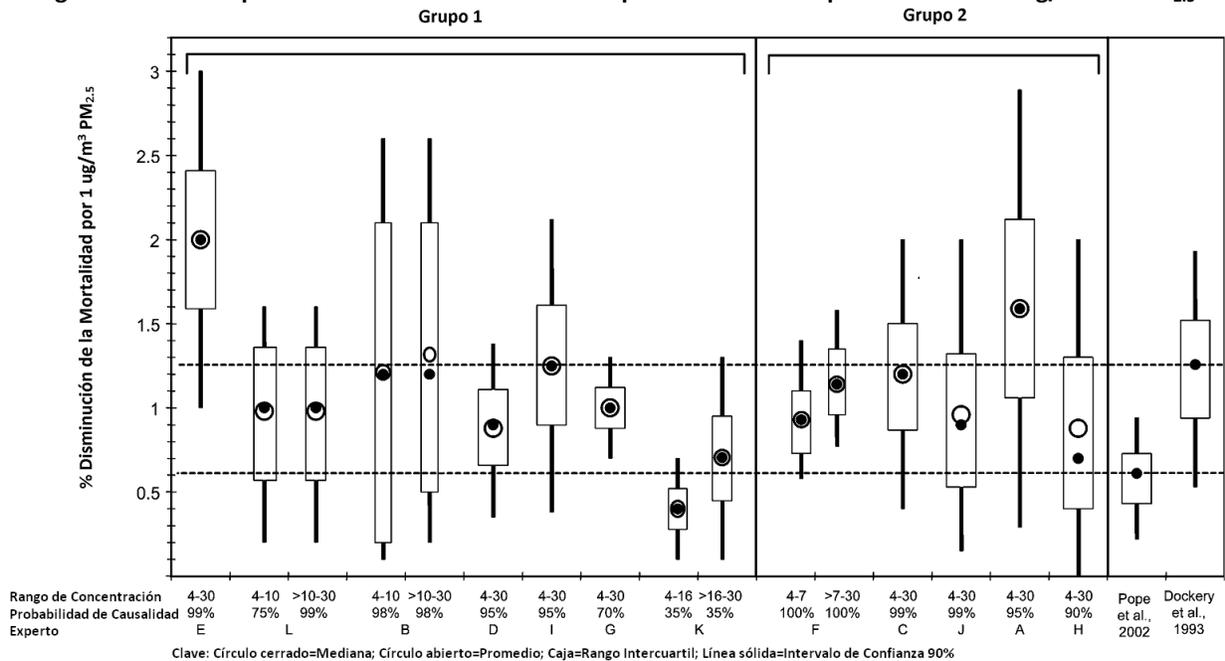
En la última década ha habido una explosión de estudios que han observado los efectos de la exposición de largo plazo al PM2.5. Estos incluyen el re-análisis del estudio de las Seis Ciudades de Harvard y del estudio de cohorte de la Asociación Americana del Cáncer⁵¹ (Eftim, Samet et al. 2008).

Además, la USEPA llevó a cabo un ejercicio de elicitación de juicio experto (Roman, Walker et al. 2008). Este ejercicio convocó a 16 expertos internacionales a los que se les efectuó la siguiente pregunta: “¿Cuál es su estimación del cambio porcentual real en eventos de mortalidad por todas las causas para adultos en USA resultante de una reducción permanente de 1 ug/m³ en las concentraciones de ambiente de MP_{2.5}?⁵². Aunque este ejercicio no está dirigido a responder la pregunta del impacto diferencial de las fracciones de MP, el hecho de que se haya realizado sólo para el MP2.5 nos da una indicación de cuál es la fracción más importante para este efecto. Las estimaciones de los expertos se muestran en la siguiente figura. También se muestran los resultados del estudio de Pope, Burnett et al. (2002) (Estudio de la Asociación Americana del Cáncer), considerado una cota inferior, y el de Dockery, Pope III et al. (1993) (Estudio de las Seis Ciudades), considerado una cota superior.

⁵¹ El estudio de las Seis Ciudades de Harvard y el estudio de la Asociación Americana del Cáncer son dos estudios de cohorte históricos en la estimación de efectos crónicos de mortalidad causados por la contaminación atmosférica de PM2.5.

⁵² El texto en inglés es: What is your estimation of the true percent change in annual, all cause mortality in the adult US population resulting from a permanent 1 ug/m³ reduction in annual average ambient?

Figura 4-1 Cambio porcentual en la mortalidad anual por una reducción permanente de 1 ug/m3 de PM_{2.5}



Fuente: (Roman, Walker et al. 2008)

Se puede apreciar a partir de la figura que la mayoría de las estimaciones de los expertos mantienen su mediana dentro de un intervalo del 90% creíble por lo que demuestra un cierto acuerdo entre los expertos de la relación causal entre la mortalidad y la exposición al largo plazo a MP_{2.5}.

En efecto, del análisis de los estudios epidemiológicos de largo plazo, la USEPA determinó que la evidencia es suficiente para concluir que la relación entre la exposición de largo plazo al MP_{2.5} y la mortalidad es **causal**.

4.1.3 Resumen Asociaciones Causales

La siguiente tabla muestra un resumen de las conclusiones planteadas por la EPA (2009) basada tanto en evidencia epidemiológica, de exposición humana controlada y toxicológica, en cuanto a si existe o no una asociación causal entre PM_{2.5} y mortalidad y morbilidad de corto y largo plazo.

Tabla 4-3 Resumen de asociaciones causales para la exposición a PM_{2.5}

Exposición	Morbilidad - Respiratoria	Morbilidad - Cardiovascular	Morbilidad- Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Probablemente Causal	Causal	Inadecuada	Causal
Largo Plazo	Probablemente Causal	Causal	Sugerente	Causal

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2009)

4.2 Óxidos de Sulfuro (SO_x)

El documento de la EPA, Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides – Health Criteria (EPA 2008b) realiza una revisión actualizada de los efectos a la salud humana que pueden ser causados por altas concentraciones de óxidos de azufre (SO_x) en el ambiente. La revisión es realizada tanto para exposiciones de corto plazo como de largo plazo e incluye tanto efectos en el aumento de la mortalidad como morbilidad. Este documento es una actualización del publicado el año 1982 e incluye la revisión de toda la documentación que no fue incluida a partir de ese año. A continuación, basado en este documento actualizado, es que se detallan los impactos causados por estos contaminantes.

Cabe destacar que el SO₂ es el componente de los óxidos de sulfuro de mayor interés (otros óxidos de sulfuro se han encontrado en la atmosfera pero en concentraciones mucho más bajas que el SO₂) por lo que la mayor parte de los estudios se encuentran dirigidos a evaluar la causalidad de este contaminante con los diferentes efectos causados por la exposición a altas concentraciones.

Por otra parte, los óxidos de sulfuro reaccionan en la atmosfera con otras partículas formando material particulado, el cual posee también efectos en la salud los cuales fueron descritos en la sección anterior.

4.2.1 Corto Plazo

4.2.1.1 Morbilidad

4.2.1.1.1 Respiratoria

- A. Efectos asociados a una exposición *peak* (entre 5 y 10 min)

Aunque no se encuentra dentro de los objetivos del presente estudio, resulta interesante mencionar la relación de causalidad entre la exposición *peak* de SO₂ y los efectos de morbilidad respiratoria ya que estos poseen una alta evidencia de **relación causal**.

Los estudios analizados por el documento de la EPA (2008b) demuestran una consistente evidencia que indica que luego de una exposición *peak* a SO₂ a concentraciones entre 0.2 y 0.6 ppm las personas asmáticas experimentan una disminución en la función pulmonar frecuentemente acompañada de síntomas respiratorios. Aunque la gran mayoría de los estudios clínicos en humanos que incluyen la exposición controlada al SO₂ se han realizado en adultos asmáticos, existe una fuerte evidencia que sugiere que los adolescentes pueden experimentar similares efectos respiratorios a las mismas concentraciones de exposición a SO₂. Estos hallazgos son consistentes con el conocimiento actual de los posibles modos de acción de la salud respiratoria.

B. Efectos asociados a una exposición de corto plazo (>1h)

Según EPA (2008b), la evaluación de la evidencia en efectos respiratorios asociados a la exposición de corto plazo a SO_x lleva a la conclusión que existe una **relación causal** entre ambos, conclusión que está respaldada por la consistencia, coherencia y la plausibilidad de los resultados observados en distintos estudios tanto clínicos, epidemiológicos y toxicológicos.

Numerosos estudios epidemiológicos han observado asociaciones entre exposiciones a corto plazo de SO₂ (>1h, generalmente media 24h) y los efectos a la salud respiratorios (desde síntomas respiratorios hasta admisiones hospitalarias y visita a salas de urgencia). Positivas asociaciones se han encontrado para inflamación del pulmón, hipersensibilidad de las vías respiratorias y para síntomas respiratorios en niños (con evidencia robusta al incluir los co-contaminantes como PM y NO₂).

No existe evidencia fuerte en los estudios epidemiológicos para una asociación entre la exposición a corto plazo de SO₂ y la función pulmonar en niños ni adultos. Otros estudios sí reportan asociaciones positivas pero los resultados generalmente mixtos, así como la relativa falta de datos disponibles para evaluar el potencial efecto de confusión de los co-contaminantes, limitan la interpretación de causalidad de la exposición del SO₂ en la función pulmonar.

Con respecto a las visitas a salas de urgencia y admisiones hospitalarias, estudios epidemiológicos entregaron fuerte evidencia para los grupos etarios de niños y adultos mayores, mientras que para la población adulta la evidencia es muy débil como para sacar conclusiones. Una modesta asociación entre niveles de SO₂ en el ambiente y visitas a salas de urgencia y admisiones hospitalarias por asma también ha sido observada. En general, los efectos del SO₂ que han sido estimados son robustos en la inclusión al análisis de los co-contaminantes incluyendo PM, O₃, CO y NO₂.

4.2.1.1.2 Cardiovascular

Por su parte, la evaluación de la evidencia de efectos cardiovasculares asociados a la exposición de SO_x concluye que **no existe suficiente evidencia para inferir una relación causal** dada la inconsistencia de la evidencia, la falta de coherencia a través de las disciplinas (estudios toxicológicos, clínicos y epidemiológicos) y las limitaciones inherentes a los estudios como por ejemplo el inadecuado control de la exposición a los co-contaminantes.

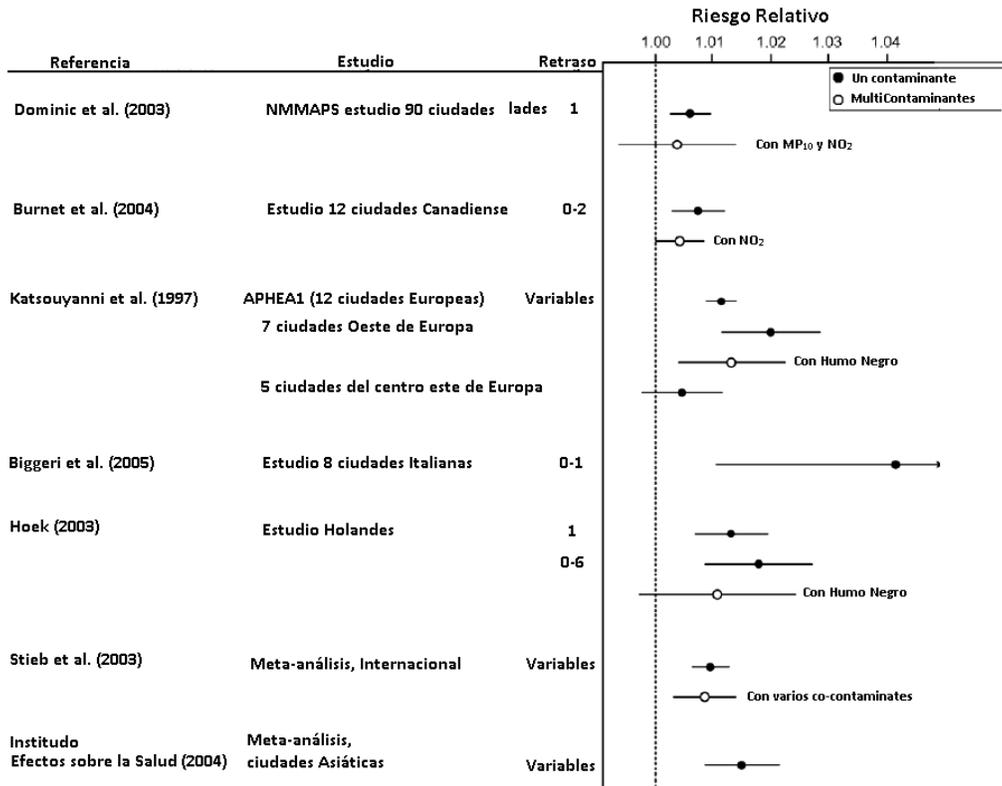
En particular, la evidencia extraída de estudios clínicos y epidemiológicos de variabilidad del ritmo cardiaco tanto en personas sanas como en personas asmáticas o con enfermedades cardiovasculares son inconsistentes y no apoyan un efecto del SO₂ en el sistema autónomo nervioso, a pesar de algunos resultados que si fueron positivos. Los estudios que evalúan la asociación de presión sanguínea y marcadores de sangre de riesgo cardiovascular fallaron en proveer evidencia consistente que sugiera un rol del SO₂ en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Finalmente, aunque algunos estudios sobre las admisiones hospitalarias y las visitas a salas de emergencia por enfermedades cardiovasculares reportan una asociación positiva y estadísticamente significativa entre estas y el SO₂, los resultados fueron inconsistentes considerando como un todo a los estudios revisados. De los estudios disponibles, muchos de ellos no han podido distinguir el efecto y la correlación de los co-contaminantes en los modelos desarrollados.

4.2.1.2 Mortalidad

La evidencia epidemiológica sobre el efecto de la exposición a corto plazo al SO₂ en la mortalidad de todas las causas no accidentales y la mortalidad cardiopulmonar es **sugerente a una relación causal**. Los estudios epidemiológicos son generalmente consistentes en reportar una asociación positiva entre el SO₂ y la mortalidad, sin embargo, existe una falta de robustez entre la asociación observada y el ajuste para los co-contaminantes.

Tal como lo muestra la siguiente figura, el riesgo relativo para la mortalidad por un aumento en la concentración de SO₂, resultados de cada uno de los estudios revisados por EPA (2008b), va entre el 0.6% y el 2% por cada 10ppm de SO₂ (promedio 24-h).

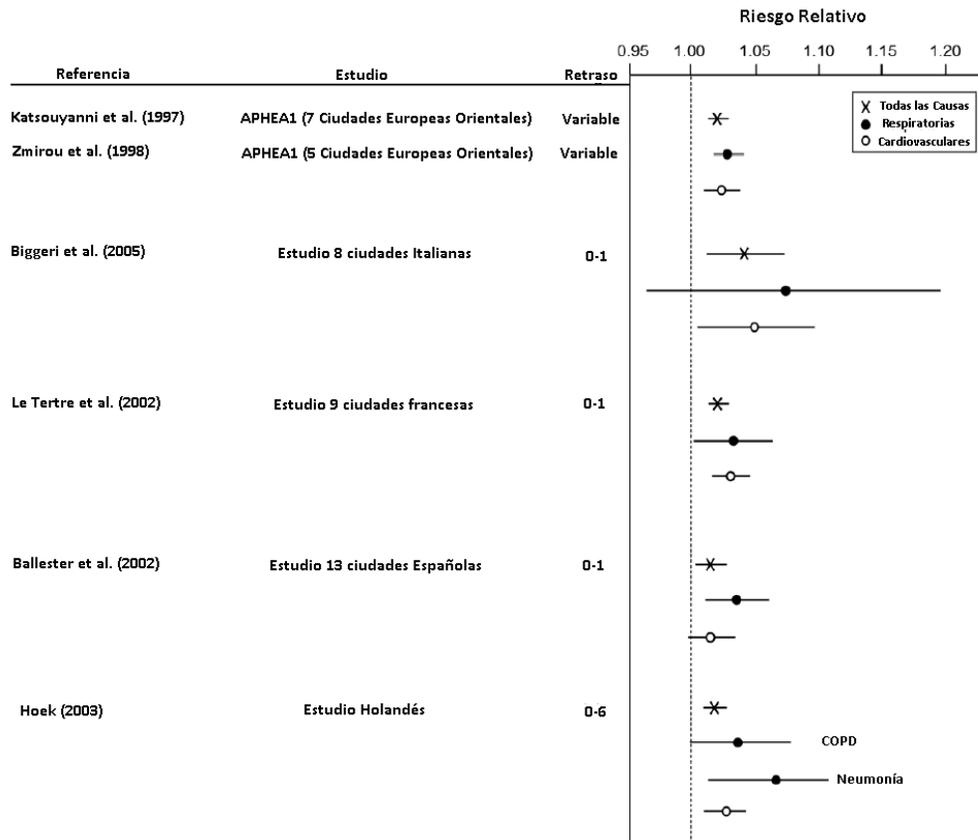
Figura 4-2 Riesgo relativo en Mortalidad por un aumento de 10 ppb de SO₂ (promedio 24h)



Fuente: EPA (2008b)

La Figura 4-3 presenta un resumen de los resultados encontrados por los diferentes estudios que evaluaron efectos en mortalidad específicos, por causas respiratorias y cardiovasculares, junto con las estimaciones de la mortalidad por todas las causas.

Figura 4-3 Riesgo relativo en Mortalidad (Respiratoria y Cardiovascular) por un aumento de 10 ppb de SO₂ (promedio 24h)



Fuente: EPA (2008b)

En estos estudios, el efecto estimado sobre la mortalidad por causas respiratorias fue más grande que el efecto estimado sobre la mortalidad cardiovascular, lo que sugiere una asociación más fuerte del SO₂ con la mortalidad respiratoria que con la mortalidad cardiovascular. Este hallazgo es consistente con los mayores efectos observados entre la concentración de SO₂ y la morbilidad respiratoria en comparación con la morbilidad cardiovascular.

Sin embargo, la interpretación de los resultados de los modelos multi-contaminantes requiere precaución debido a la posible interacción entre los contaminantes y la influencia de diversos errores de medición. La información disponible para determinar los posibles efectos de interacción entre el SO₂ y el MP y otros contaminantes es muy escasa. En resumen, la evidencia de que el SO₂ posee una relación causal con la mortalidad es solo sugerente, limitado por factores confundentes y la falta de comprensión de la interacción de SO₂ con co-contaminantes en los datos epidemiológicos.

4.2.2 Largo Plazo

4.2.2.1 Morbilidad

4.2.2.1.1 Respiratoria

Según las conclusiones realizadas en EPA (2008b), la evidencia epidemiológica en los efectos respiratorios debido a la exposición de largo plazo al SO₂ **es inadecuada para inferir una relación causal**. Uno de los principales puntos que explica que la evidencia sea inadecuada en los estudios epidemiológicos basados en la exposición al largo plazo es la fuerte correlación entre los contaminantes observados, en particular entre el promedio a largo plazo de concentraciones de SO₂ y las concentraciones de PM. Un número limitado de estudios toxicológicos han examinado el efecto de la exposición a largo plazo al SO₂ sobre la función pulmonar. Los resultados de estos estudios no proporcionan fuerte plausibilidad biológica sobre los efectos de la exposición a largo plazo a concentraciones ambientales de SO₂ sobre la morbilidad respiratoria.

En general, la evidencia disponible a partir del número limitado de estudios epidemiológicos y de los estudios toxicológicos en animales no es suficiente para inferir que se producen efectos respiratorios debido a la exposición a largo plazo a concentraciones ambientales de SO₂.

4.2.2.1.2 Cardiovascular

Con respecto a los efectos cardiovasculares, un estudio epidemiológico reciente examinó la asociación entre la exposición a largo plazo a las concentraciones atmosféricas de contaminantes, incluido el SO₂, y uno o más eventos cardiovasculares fatales o no fatales. En el estudio de cohorte *Women's Health Initiative*, Miller, Siscovick et al. (2007) estudiaron a aproximadamente 66.000 mujeres posmenopáusicas entre las edades de 50 y 79 años sin antecedente de enfermedad cardiovascular en 36 áreas metropolitanas de EE.UU. desde 1994 hasta 1998. Un total de 1.816 mujeres tenían uno o más eventos cardiovasculares fatales o no fatales, incluyendo 261 muertes por causas cardiovasculares. En modelos de un solo contaminante, el SO₂ mostró asociaciones fuertes con eventos cardiovasculares (1,07 [IC 95%: 0,95, 1,20] por aumento del 5 ppb en el promedio anual). En otro modelo de contaminantes múltiples en el que todos los contaminantes (es decir, MP_{2.5}, MP_{10-2.5}, CO, SO₂, NO₂, O₃) se incluían en el modelo, la asociación con SO₂ se hizo más fuerte (1,13 [IC 95%: 0,98, 1,30]).

Aunque los estudios actualmente han comenzado a abordar los efectos cardiovasculares asociados a la exposición al largo plazo de SO₂ entregando asociaciones positivas, la **evidencia** de los estudios toxicológicos y epidemiológicos disponibles aun es demasiado **limitada para sacar conclusiones** en este momento (EPA 2008b).

4.2.2.1.3 Cáncer

Según EPA (2008b) los estudios toxicológicos indican que el SO₂ en altas concentraciones puede causar daños en el ADN, pero no como para inducir carcinogénesis o algún tipo de tumor. Adicionalmente, los resultados de un número limitado de estudios epidemiológicos que examinaron la asociación entre la exposición a largo plazo a SO₂ y el exceso de riesgo de incidencia de cáncer de pulmón no son concluyentes. En conclusión, la evidencia de los resultados toxicológicos y epidemiológicos de los efectos cancerígenos asociados a la exposición de largo plazo a SO₂ es **inadecuada para inferir una relación causal**.

4.2.2.1.4 Reproducción y Desarrollo

Los estudios epidemiológicos en los recién nacidos han observado una relación positiva entre la exposición al SO₂ y el bajo peso al nacer, sin embargo, los estudios toxicológicos proporcionan baja plausibilidad biológica para los resultados reproductivos relacionados con la exposición al SO₂. Los resultados inconsistentes a través de los trimestres del embarazo y la falta de evidencia con respecto a la confusión por los co-contaminantes limitan aún más la interpretación de estos estudios. El limitado número de estudios relacionados con el parto prematuro, restricción del crecimiento intrauterino, malformaciones congénitas, hospitalización neonatal y mortalidad infantil hacen que sea **difícil sacar conclusiones** sobre el efecto del SO₂ en estos efectos (EPA 2008b).

4.2.2.2 Mortalidad

La evidencia epidemiológica disponible sobre el efecto de la exposición a largo plazo al SO₂ en la mortalidad es **inadecuada para inferir una relación causal** en la actualidad.

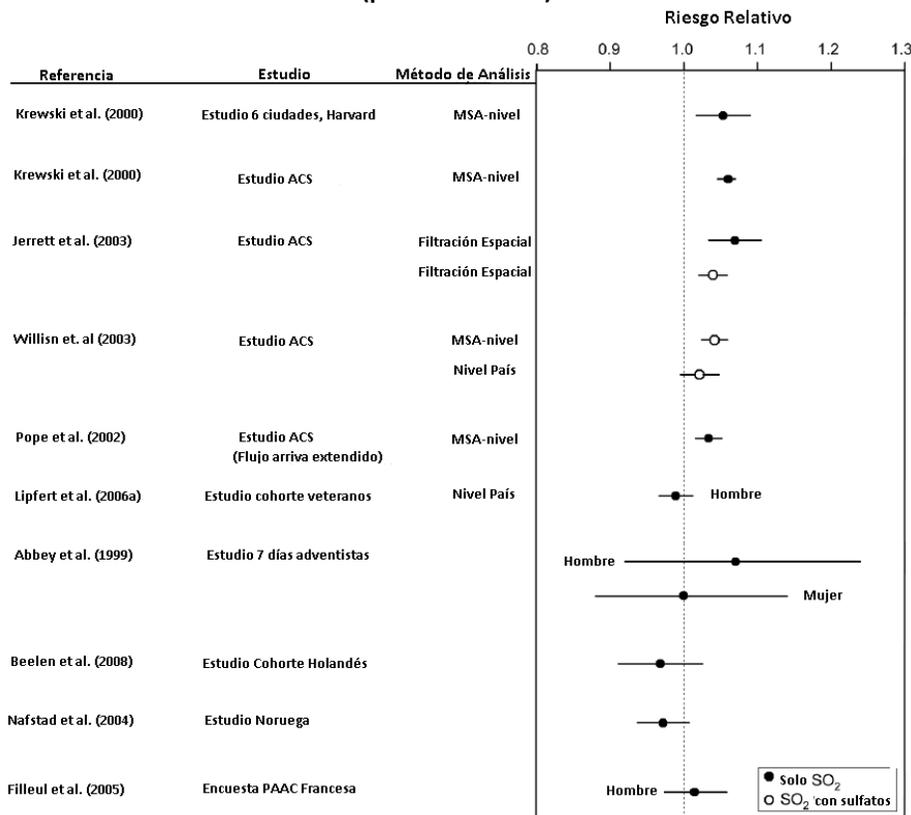
Los estudios revisados en las versiones previas de *Air Quality Criteria Document* de la EPA encontraron relaciones sugerentes entre la exposición a largo plazo al SO₂ y la mortalidad. Sin embargo, había dudas en cuanto a si la asociación observada se debía solo al SO₂, o también otros sulfatos y partículas como SO_x y H₂SO₄ podrían haber sido responsables. En los estudios de cohorte más recientes, una vez más, se han observado asociaciones positivas entre la exposición a largo plazo al SO₂ y la mortalidad, sin embargo, varios factores afectan a la interpretación de estos resultados. Un factor importante de estos estudios es que no se pudo resolver la posible confusión y/o la interacción entre los índices de SO₂ y MP. La posibilidad de que los efectos observados puedan no ser consecuencia del SO₂ sino que sean debidos a otros componentes que vienen de la misma fuente de emisión del SO₂, o que el MP pueda ser más tóxico en presencia del SO₂, o que otros componentes asociados con el SO₂ sean los causantes de los efectos en la mortalidad, no se puede descartar.

En general, los resultados de los dos de los estudios epidemiológicos más importantes de EE.UU. observan una asociación entre la exposición a largo plazo al SO₂ o al azufre contenido en partículas de la contaminación atmosférica con la mortalidad. Sin embargo, en varios otros

estudios de cohortes de EE.UU. y Europa no se observó una asociación. La falta de coherencia entre estudios, la incapacidad para distinguir posibles factores de confusión por co-contaminantes, y la relación de las incertidumbres a escala geográfica de análisis limita la interpretación de una relación causal.

Independiente de la dificultad de establecer una evidencia en la causalidad, la siguiente figura presenta los resultados de estudios de cohorte estadounidenses y europeos sobre el riesgo relativo estimado de muertes, por todas las causas, asociadas con la exposición a largo plazo al SO₂. El rango general de riesgo relativo es entre 0,97 a 1,07 por cada 5 ppb de aumento en la concentración promedio anual de SO₂.

Figura 4-4 Riesgo relativo en Mortalidad (Respiratoria y Cardiovascular) por un aumento de 5 ppb de SO₂ (promedio anual)



Fuente: EPA (2008b)

4.2.3 Resumen Asociaciones Causales

La siguiente tabla muestra un resumen de las conclusiones planteadas por la EPA (2008b) basada tanto en evidencia epidemiológica, de exposición humana controlada y toxicológica, en

cuanto a si existe o no una asociación causal entre SO₂ y mortalidad y morbilidad de corto y largo plazo.

Tabla 4-4 Resumen de asociaciones causales para la exposición a SO₂

Exposición	Morbilidad - Respiratoria	Morbilidad - Cardiovascular	Morbilidad- Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Causal	Inadecuado	No estudiado	Sugereente
Largo Plazo	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2008a)

4.3 Óxidos Nitrosos (NO_x)

El documento de la EPA, Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (EPA 2008a) realiza una revisión actualizada de los efectos a la salud humana que pueden ser causados por altas concentraciones de óxidos nitrosos (NO_x) en el ambiente. La revisión es realizada tanto para exposiciones de corto plazo como de largo plazo e incluye tanto efectos en el aumento de la mortalidad como morbilidad. Este documento es una actualización del publicado el año 1993 e incluye la revisión de toda la documentación que no fue incluida a partir de ese año. A continuación, basado en este documento actualizado, es que se detallan los impactos causados por estos contaminantes.

Cabe destacar que el NO₂ es el componente de los óxidos nitrosos de mayor interés por lo que la mayor parte de los estudios se encuentran dirigidos a evaluar la causalidad de este contaminante con los diferentes efectos causados por la exposición a altas concentraciones.

4.3.1 Corto Plazo

4.3.1.1 Morbilidad

4.3.1.1.1 Respiratoria

Con respecto a los efectos respiratorios, según (EPA 2008a), existe suficiente evidencia para inferir una **relación probablemente causal** con la exposición de NO₂ a corto plazo. La evidencia más fuerte la entregan los estudios epidemiológicos, sin embargo, los estudios toxicológicos y clínicos entregan resultados que apoyan la causalidad. Los estudios epidemiológicos entregan evidencia científica que asocia un amplio rango de efectos en morbilidad respiratoria que incluyen la alteración de la defensa pulmonar, inflamación, hipersensibilidad de las vías respiratorias, síntomas respiratorios, decaimiento en la función pulmonar y admisiones hospitalarias y visitas a las salas de urgencia por enfermedades respiratorias. Además, nueva evidencia incluye un agravamiento en los efectos del asma que incluyen síntomas, uso de

medicación y disminución de la función pulmonar, los cuales se hacen más evidentes con un rezago acumulado de 2 a 6 días más que el nivel de NO₂ del mismo día. Importante evidencia existe también desde estudios epidemiológicos que asocian la exposición *indoor* de corto plazo con el aumento de efectos respiratorios como silbidos, opresión del pecho, ausencias escolares, ataques de asma, etc.

Es importante mencionar que el desafío pendiente en la evaluación de la potencial relación entre la exposición al corto plazo del NO₂ y los efectos respiratorios es la interrelación existente entre el NO₂ y otros contaminantes.

En particular y con respecto a las admisiones hospitalarias y visitas a las salas de urgencia por enfermedades respiratorias y asma, las asociaciones de causalidad son particularmente consistentes en los niños y adultos mayores en todas las enfermedades respiratorias. Adicionalmente, los resultados de los modelos que incluyen a co-contaminantes indican que los efectos del NO₂ en las visitas a las salas de urgencia y admisiones hospitalarias son generalmente robustos e independientes de los efectos producidos por los co-contaminantes incluidos en estos modelos. En relación con las visitas a salas de emergencia y admisiones hospitalarias por COPD (obstrucción crónica del pulmón, por sus siglas en inglés), los resultados de los estudios que se han realizado dan inconsistentes resultados por lo que no se pueden sacar conclusiones claras con respecto a este efecto.

Según lo expuesto en los párrafos anteriores y dados los objetivos del presente estudio, el consultor pondrá énfasis en seleccionar funciones dosis respuesta para morbilidad respiratoria al corto plazo de admisiones hospitalarias y visitas a salas de urgencia excluyendo el efecto COPD.

4.3.1.1.2 Cardiovascular

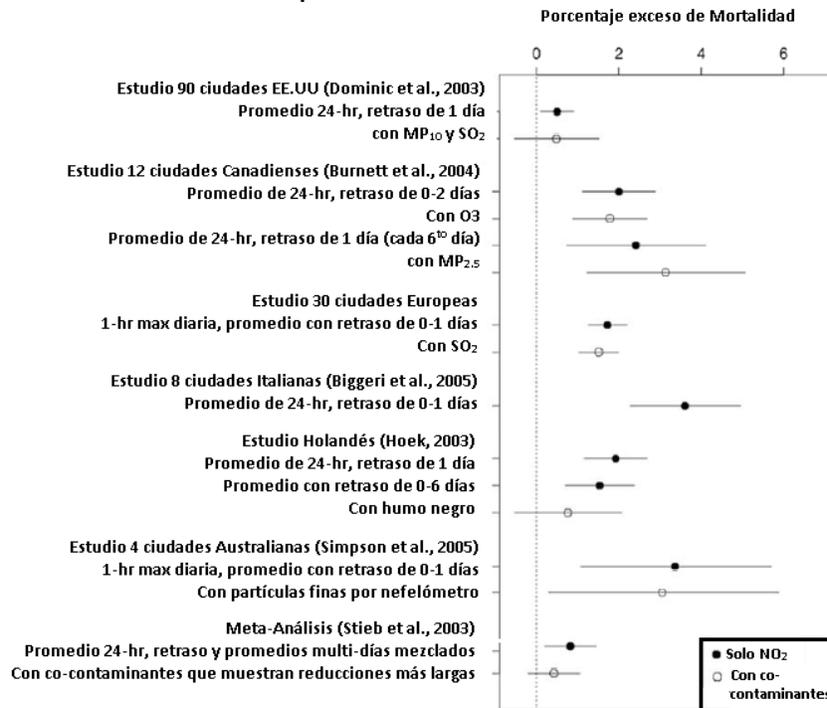
La evidencia hasta el momento disponible para la exposición a corto plazo de NO₂ en efectos cardiovasculares es **inadecuada para inferir la ausencia o presencia de una relación causal**. La evidencia que viene a partir de los estudios epidemiológicos de variabilidad y desorden del ritmo cardíaco y de cambio en la repolarización es inconsistente ya que en la mayoría de los estudios las asociaciones observadas con PM eran similares o más fuertes que las asociaciones con NO₂. Para las admisiones hospitalarias o visitas a las salas de emergencia por enfermedades cardiovasculares, en general, la evidencia entrega positivas asociaciones con las concentraciones de NO₂ en el ambiente cuando utilizan un modelo de un solo contaminante, sin embargo, la mayoría de los efectos estimados disminuyen cuando se utiliza un modelo de múltiples contaminantes que también contienen CO y PM.

Según lo anterior, el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para morbilidad cardiovascular al corto plazo.

4.3.1.2 Mortalidad

Según EPA (2008a) la evidencia epidemiológica sobre los efectos de la exposición de corto plazo en mortalidad total no accidental y mortalidad cardiopulmonar es **sugereente pero no suficiente como para inferir una relación causal**. Los estudios entregan una asociación positiva y consistente entre ellos, sin embargo, aun es muy baja la cantidad de estudios que observan dicha relación. El rango del aumento del riesgo en mortalidad asociado al aumento de las concentraciones de NO₂ entre los estudios existentes va desde 0.5 a 3.6% por un aumento en 20ppb en un promedio de 24 h o 30 ppb de incremento en 1-h max diaria tal como lo muestra la siguiente figura.

Figura 4-5 Riesgo en mortalidad provocado por un aumento en las concentraciones de NO₂ basado en estudios de múltiples ciudades o meta análisis



Fuente: EPA (2008a)

El desafío que sigue no resuelto corresponde a la problemática del rol del NO₂ y las interacciones posibles con el PM y otros contaminantes.

Por lo dicho anteriormente y dado a que no existe suficiente evidencia para establecer causalidad entre la exposición a NO₂ y la mortalidad al corto plazo es que el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para este efecto.

4.3.2 Largo Plazo

4.3.2.1 Morbilidad

4.3.2.1.1 Respiratoria

Según EPA (2008a), para los efectos respiratorios relacionados con la exposición al largo plazo al NO₂, la evidencia epidemiológica y experimental es **sugereente pero no suficiente para inferir una relación causal**. En particular, ha aumentado la cantidad de estudios que evalúan la relación entre las enfermedades respiratorias en niños, los cuales han demostrado déficit en el crecimiento de la función pulmonar en niños que han estado expuestos por largos periodos de tiempo a NO₂. Sin embargo, aun no se tiene claramente establecido los modelos y/o mecanismos de acción para el déficit del crecimiento de la función pulmonar y de otras enfermedades respiratorias relacionados con la exposición al largo plazo de NO₂. El déficit en el crecimiento de la función pulmonar es un riesgo conocido para enfermedades respiratorias crónicas y posiblemente también para mortalidad prematura en etapas avanzadas de la vida.

En lo que respecta a la incidencia en la prevalencia del asma asociada con una exposición al largo plazo de NO₂ los resultados son inconsistentes. En un par de estudios de cohorte fueron reportados asociaciones positivas significantes, sin embargo, varios otros estudios no encontraron asociaciones consistentes.

El consultor, dado lo detallado en los párrafos anteriores, no seleccionará funciones dosis respuesta para los efectos de morbilidad respiratoria al largo plazo producto de la exposición al NO₂.

4.3.2.1.2 Cardiovascular

Existen muy pocos estudios que hayan analizado los efectos cardiovasculares asociados a una exposición a NO₂ al largo plazo. Estos pocos estudios, que son de origen epidemiológico y toxicológico, **entregan inadecuada evidencia para establecer una relación causal**. El estudio epidemiológico no encontró asociaciones mientras que los estudios toxicológicos observaron algunos efectos del NO₂ en el funcionamiento cardíaco y pulso, pero solo a niveles de exposición a NO₂ altos (>4ppm).

Según lo descrito en el párrafo anterior, el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para este efecto en morbilidad a largo plazo.

4.3.2.1.3 Cáncer

Según EPA (2008a), en la actualidad la evidencia es **inadecuada para inferir presencia o ausencia de relación causal** entre la exposición al NO₂ y el incremento del riesgo en contraer

cáncer. Estudios epidemiológicos han mostrado asociaciones entre la exposición al largo plazo a NO₂ y la incidencia en cáncer, sin embargo, estudios toxicológicos en animales no han dado clara evidencia ni tampoco han existido estudios “en vivo” que demuestren que el NO₂ causa tumores malignos.

Según lo descrito en el párrafo anterior, el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para este efecto en morbilidad a largo plazo.

4.3.2.1.4 Reproducción y Desarrollo

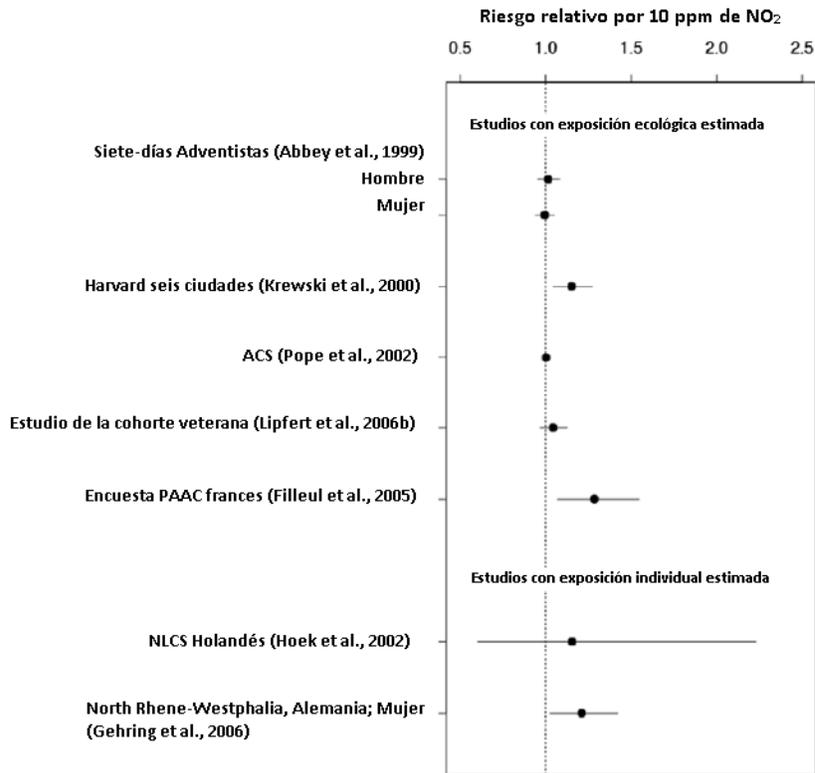
La evidencia epidemiológica no reporta de manera consistente la asociación entre exposición al NO₂ y retraso del crecimiento intrauterino, sin embargo, se está acumulando alguna evidencia en efectos de parto prematuro. Del mismo modo, la escasa evidencia en animales apoya una débil asociación entre la exposición al NO₂ y los resultados adversos del nacimiento y proporciona poca información de mecanismos o de plausibilidad biológica de una asociación entre la exposición al NO₂ a largo plazo y efectos reproductivos o de desarrollo. En resumen tanto por estudios de origen epidemiológicos como toxicológicos, la evidencia entrega **inadecuada evidencia para establecer una relación causal.**

Según lo descrito en el párrafo anterior, el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para este efecto en morbilidad a largo plazo.

4.3.2.2 Mortalidad

En EPA (2008a) se revisó la evidencia del efecto mortalidad asociado a la exposición de NO₂ al largo plazo tanto en estudios realizados en EE.UU como de estudios realizados en Europa. La siguiente figura resume los resultados de estos estudios los cuales se encuentran divididos entre aquellos que utilizan un nivel de exposición colectiva o ecológica y aquellos que utilizan un nivel de exposición individual. Como se puede apreciar, el riesgo relativo de mortalidad por exposición de largo plazo a NO₂ tiene un rango entre 1.0 y 1.28 por cada 10ppb de incremento anual.

Figura 4-6 Riesgo relativo en Mortalidad por un aumento de 10 ppb de NO₂ anual



Fuente: EPA (2008a)

El problema de estos resultados se centra en las potenciales correlaciones con otros contaminantes en algunos estudios, y otros que no presentan las dichas correlaciones. Algunos de los estudios (Harvard Six Cities, French PAAC *survey* y North Rhine-Westphalia) presentan correlaciones con PM que van desde 0.72 a 0.8 lo que implica una posible confusión para esos contaminantes.

En resumen, a partir de los estudios que se revisaron en el documento de la EPA (2008a) (Estudios de cohorte de EE.UU y Europa), los resultados no fueron consistentes. Cuando las asociaciones fueron sugerentes, estas no fueron referidas específicamente a NO₂ sino que también implicaban PM y otros contaminantes.

Las correlaciones relativamente altas reportadas entre los índices de NO₂ y PM ($r \sim 0.8$) y las interacciones entre diferentes contaminantes hacen que sea difícil de interpretar las asociaciones observadas, por lo que estos datos son **insuficientes para inferir la presencia o ausencia de una relación causal**.

Según lo descrito en los párrafos anteriores, el consultor no considerará la selección de funciones dosis respuesta para el efecto de mortalidad asociado a una exposición de largo plazo a NO₂.

4.3.3 Resumen Asociaciones Causales

La siguiente tabla muestra un resumen de las conclusiones planteadas por la EPA (2008a) basada tanto en evidencia epidemiológica, de exposición humana controlada y toxicológica, en cuanto a si existe o no una asociación causal entre NO₂ y mortalidad y morbilidad de corto y largo plazo.

Tabla 4-5 Resumen de asociaciones causales para la exposición a NO₂

Exposición	Morbilidad - Respiratorias	Morbilidad – Cardiovasculares	Morbilidad – Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Probablemente Causal	Inadecuado	Inadecuado	Sugerente
Largo Plazo	Sugerente	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2008a)

4.4 Selección de Funciones D-R

Las siguientes tablas muestran un resumen de las conclusiones planteadas por la EPA (EPA 2008a, EPA 2008b, EPA 2009) basada tanto en evidencia epidemiológica, de exposición humana controlada y toxicológica, en cuanto a si existe o no una asociación causal entre PM_{2.5} - NO₂ – SO₂ y mortalidad y morbilidad de corto y largo plazo.

Tabla 4-6 Resumen de asociaciones causales para la exposición a PM_{2.5}

Exposición	Morbilidad - Respiratoria	Morbilidad - Cardiovascular	Morbilidad- Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Probablemente Causal	Causal	Inadecuada	Causal
Largo Plazo	Probablemente Causal	Causal	Sugerente	Causal

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2009)

Tabla 4-7 Resumen de asociaciones causales para la exposición a SO₂

Exposición	Morbilidad - Respiratoria	Morbilidad - Cardiovascular	Morbilidad- Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Causal	Inadecuado	No estudiado	Sugerente
Largo Plazo	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2008b)

Tabla 4-8 Resumen de asociaciones causales para la exposición a NO₂

Exposición	Morbilidad - Respiratorias	Morbilidad – Cardiovasculares	Morbilidad – Cáncer, Reproducción y Desarrollo	Mortalidad
Corto Plazo	Probablemente Causal	Inadecuado	Inadecuado	Sugerente
Largo Plazo	Sugerente	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia en base a EPA (2008a)

Según la evidencia de la EPA, las cuales se resumieron en las tablas anteriores y en donde se detallaron los argumentos en las secciones 4.1, 4.2 y 4.3, el consultor recomienda utilizar funciones dosis respuesta (D-R) asociadas a la exposición de los contaminantes que resultan con una asociación causal del tipo “Casual” o “Probablemente Causal”.

La selección de las funciones dosis respuesta se realizó en base a la recopilación de los valores de riesgo unitario para diferentes contaminantes realizada por la EPA en el documento Environmental Benefits Mapping and Analysis Program, BENMAP (EPA 2010a), a las funciones dosis respuesta nacionales disponibles y a los criterios de selección de funciones dosis respuesta establecidos por el propio consultor. Estos criterios se detallan a continuación.

- ✓ Se consideran solo estudios epidemiológicos, es decir, no se incorporaron estudios clínicos o experimentales (en humanos o animales).
- ✓ Se prefieren los estudios que estiman una función concentración-respuesta de forma log-lineal sobre aquellos que estiman una de forma logística, lineal o cuadrática⁵³.
- ✓ Se consideran solo estudios con sólida base científica, publicados en revistas especializadas con comité editorial, con un diseño estadístico apropiado y que han

considerado adecuadamente el control de factores confundentes tales como el clima, edad, patrones de comportamiento, etc.

- ✓ Se prefieren estudios nacionales frente a extranjeros, a igualdad de condiciones.
- ✓ Se seleccionaron sólo aquellos estudios que presentan resultados con información cuantitativos sobre el intervalo de confianza de la estimación.
- ✓ Para los efectos del material particulado, se han preferido estudios basados en $PM_{2.5}$. No se han considerado otras medidas como British Smoke o PTS debido a la dificultad de relacionarlos con el $PM_{2.5}$.
- ✓ En particular para la selección de las funciones D-R de SO_2 y NO_2 se prefieren aquellas que incluyeron en su determinación el efecto de la correlación con los co-contaminantes.
- ✓ Se consideraron estudios asociados con concentraciones atmosféricas de los contaminantes, eliminando de esta forma los estudios relacionados con contaminación intra-domiciliaria.
- ✓ Se consideraron solo estudios que consideran 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).
- ✓ En caso de existir dos estudios a iguales condiciones, se prefiere el estudio que presente un valor de riesgo unitario menor para cuantificar de manera conservadora.
- ✓ Han sido consideradas solamente publicaciones que estudian efectos que pueden ser valorados monetariamente. Los efectos que no pueden ser valorados actualmente, por ejemplo todos los efectos fisiológicos menores, como cambios en la función pulmonar, no se incluyen debido a la imposibilidad de valorarlos.

La aplicación de estos criterios es necesariamente subjetiva.

4.4.1 Material Particulado Fino ($PM_{2.5}$)

La selección de las funciones dosis respuesta para la exposición de corto plazo a $PM_{2.5}$ se realizó siguiendo los criterios de selección expuestos anteriormente, en base a las funciones dosis

respuesta documentadas en BenMap y considerando también el estudio realizado por Cifuentes, Vega et al. (2000) el cual consistió en la determinación del efecto del PM_{2.5} sobre la mortalidad diaria en Santiago, Chile.

Las funciones D-R para la exposición a corto plazo a PM_{2.5} recomendadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4-9 Funciones Dosis Respuesta Recomendadas para la exposición a Corto Plazo de PM_{2.5}

Tipo Efecto	Efecto	Causa	Grupo Edad	Métrica	Inc por 10 ug/m ³ (IC 95%)			Fuente	
Mortalidad Prematura	Mortalidad Prematura	Todos	Todos	Media 24h	1.2%	(0.6%	1.8%)	Cifuentes et al. (2000)	
		CHF	65+	Media 24h	3.1%	(0.5%	5.8%)	Ito (2003)	
Acciones Medicas	Admisiones Hospitalarias	DYS	65+	Media 24h	1.3%	(-2.7%	5.4%)	Ito (2003)	
		IHD	65+	Media 24h	1.4%	(-0.8%	3.8%)	Ito (2003)	
		CLD	18-64	Media 24h	2.4%	(0.8%	4.0%)	Moolgavkar (2000)	
			65+	Media 24h	1.2%	(-2.8%	5.4%)	Ito (2003)	
		PNEU	65+	Media 24h	4.1%	(0.7%	7.5%)	Ito (2003)	
		CVD	18-64	Media 24h	1.5%	(0.8%	2.3%)	Moolgavkar (2000)	
			65+	Media 24h	1.6%	(0.9%	2.3%)	Moolgavkar (2003)	
		ASTH	0-64	Media 24h	3.4%	(1.3%	5.5%)	Sheppard (2003)	
		Visitas Salas Emergencia	ASTH	0-17	Media 24h	18.0%	(8.8%	27.9%)	Norris et al. (1999)
			BRO	0-17	Media 24h	4.5%	(0.2%	9.0%)	Dockery et al. (1989)
Restricción Actividad	WLD		18-64	Media 24h	4.7%	(4.0%	5.4%)	Ostro (1987)	
	RAD		18-64	Media 24h	4.9%	(4.3%	5.5%)	Ostro (1987)	
	MRAD		18-64	Media 24h	7.7%	(6.2%	9.2%)	Ostro and Rothschild (1989)	

$$\text{Nota: } \beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la exposición de largo plazo al contaminante PM_{2.5} y siguiendo los criterios de selección expuestos junto con las funciones dosis respuesta documentadas en BenMap, solo se recomienda la utilización de la función dosis respuesta asociada a mortalidad prematura. Se recomienda el resultado de Pope, Burnett et al. (2004), para mortalidad por causas cardiopulmonares, para mayores de 30 años, cuyo resultado es un incremento del riesgo de 9.7% (IC95% [3.7% - 16.2%]) por cada 10 µg/m³ de cambio en el promedio anual de la exposición a MP_{2.5} (Pope, Burnett et al. 2004). Se recomienda este valor por corresponder específicamente a las causas cardiopulmonares (respiratorias y cardiovasculares) las cuales son los efectos que se ven modificados por la exposición a PM_{2.5}.

A pesar de recomendar una función dosis respuesta correspondiente a la exposición a corto plazo y otra a largo plazo, para el cálculo del daño marginal estas no se pueden utilizar

conjuntamente ya que se produce un doble conteo de los casos de mortalidad. Esto induce al consultor a recomendar, para el caso exclusivo de cálculo de daño marginal del presente estudio solo una de ellas. En este sentido el consultor recomienda el uso de la función correspondiente a la exposición a largo plazo (Mortalidad por causas cardiopulmonares para mayores de 30 años).

La lista de todas las funciones dosis respuesta recopiladas para la exposición a $PM_{2.5}$ se puede revisar en el Anexo I.1 el cual presenta mayor información sobre cada una de las funciones D-R seleccionadas además de la razón del por qué algunas de ellas no fueron recomendadas en esta sección.

4.4.2 Óxidos de Sulfuro y Óxidos Nitrosos

Según lo expuesto en la Tabla 4-7 y Tabla 4-8 el consultor recomienda utilizar funciones dosis respuesta (D-R) asociadas a la exposición de corto plazo de morbilidad respiratoria para ambos contaminantes.

En específico, para los efectos asociados a la exposición al corto plazo de SO_2 las funciones dosis respuesta que se consideran en la selección corresponde a Visitas a Salas de Emergencia y Admisiones Hospitalarias para los grupos de edad de niños y adultos mayores, excluyendo a la población adulta debido a que la evidencia aun es débil para establecer causalidad. Lo mismo ocurre para los efectos respiratorios menores, en donde la evidencia existente limita la interpretación. En el caso de los efectos respiratorios asociados a la exposición al corto plazo de NO_2 , los grupos de edad que se consideran para las Visitas a Salas de Emergencia y Admisiones Hospitalarias en la selección de las funciones dosis respuesta también corresponden a niños y adultos menores, además de los efectos respiratorios menores ya que en todos ellos existe evidencia suficiente para establecer causalidad o probabilidad de causalidad.

Es importante considerar que en general para ambos contaminantes (SO_2 y NO_2) existe aún un desafío pendiente por analizar los efectos de la correlación con los co-contaminantes en los modelos analizados. Sin embargo, y dado lo expuesto en las secciones anteriores, los estudios que apoyan la evidencia de causalidad en los efectos que se están seleccionando, entregan particularmente resultados robustos en la inclusión al análisis de los co-contaminantes PM , O_3 y CO .

Siguiendo los criterios de selección expuestos y en base a las funciones dosis respuesta documentadas en BENMAP (EPA 2010a), las funciones D-R recomendadas para la exposición a corto plazo de SO_2 y NO_2 para los efectos de morbilidad respiratoria se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4-10 Funciones Dosis Respuesta recomendadas para la exposición a Corto Plazo – Morbilidad Respiratoria de SO₂ y NO₂

Tipo Efecto	Efecto	Causa	Cont.	Grupo Edad	Métrica	Inc por 10 ppb (IC 95%)			Fuente
Acciones Medicas	HA	RSP	SO ₂	65+	Media 24h	0.8%	(-0.1%	1.7%)	Schwartz et al. (2003)
			NO ₂	65+	Media 24h	3.3%	(-0.1%	6.9%)	Fung et al. (2006)
	ERV	ASTH	SO ₂	0-14	Media 24h	5.1%	(-11.9%	25.4%)	Wilson et al. (2007)
			SO ₂	65+	Media 24h	11.6%	(-15.2%	46.9%)	Wilson et al. (2007)
			NO ₂	75+	Media 24h	14.5%	(3.1%	27.1%)	Villeneuve et al. (2007)
Restricción Actividad	EA	SLD	NO ₂	4-12	Media 24h	15.0%	(-6.5%	41.4%)	O'Connor et al. (2008)
	MRAD	Tos	NO ₂	7-14	Media 24h	17.0%	(-6.1%	45.8%)	Schwartz et al. (1994)

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Nota:

HA: Admisiones Hospitalarias

EA: Exacerbación del Asma

ERV: Visitas a Salas de Emergencia

Fuente: Elaboración Propia

La lista de todas las funciones dosis respuesta recopiladas para la exposición de corto plazo a SO₂ y NO₂ asociadas a morbilidad respiratoria se puede revisar en los Anexos I.1 (SO₂) y I.3 (NO₂) los cuales presentan mayor información sobre cada una de las funciones D-R seleccionadas además de la razón del por qué algunas de ellas no fueron recomendadas en la tabla anterior.

4.5 Cálculo del Daño Marginal

El objetivo de esta sección es dar a conocer el cálculo del daño marginal por región y comuna los cuales fueron calculados en base a la metodología de función daño, tal cual se recomienda en la "Guía Metodológica para la Elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire".

Siguiendo la metodología de la función daño, el cálculo del daño o beneficio social está dado por la siguiente ecuación.

Ecuación 33 Calculo del Beneficio Social

$$BS_{ij}^k = \Delta E_{ij}^k \cdot VS_{ij}$$

$$\Delta E_{ij}^k = \beta_{ij}^k \cdot \Delta C^k \cdot Pop_j^k \cdot IR_{ij}$$

Donde,

BS_{ij}^k Beneficio Social producto de la disminución del efecto i debido al cambio de concentración del contaminante k en la población j.

ΔE_{ij}^k Cambio del número de efectos i debido al cambio de concentraciones del contaminante k en la población j.

VS_{ij} Valor Social del efecto i en la población j.

β_{ij}^k Coeficiente de riesgo unitario del efecto i en la población j producto del contaminante k.

ΔC^k Cambio de concentración del contaminante k.

Pop_j^k Número de personas del grupo j que está expuesta al contaminante k.

IR_{ij} Tasa incidencia del efecto i en la población j.

Si queremos obtener el valor del daño marginal, derivando la Ecuación 33 en función de ΔC^k se tiene que el beneficio social marginal (BS_{Mg}) corresponde a:

Ecuación 34 Beneficio Social Marginal

$$BS_{Mgij}^k = \beta_{ij}^k \cdot Pop_j^k \cdot IR_{ij} \cdot VS_{ij}$$

Según la última ecuación, los valores y parámetros que deben ser obtenidos corresponden a los coeficientes de riesgo unitario (recomendados en la Sección 4.4), la población expuesta, la tasa de incidencia de los efectos seleccionados y la valoración social de cada uno de los efectos.

A continuación se presenta para el caso de aplicación regional, la metodología y valores utilizados para la población expuesta, las tasas de incidencia base de los efectos considerados y la valoración social de cada efecto seleccionado. Para el cálculo del daño marginal por comuna, en general se sigue la misma metodología para el cálculo de los parámetros de población expuesta y tasas de incidencia que para el caso regional, esta vez, utilizando información comunal (la valorización social de los efectos es idéntica a la regional). En el presente documento solo se presentan los valores y análisis para el caso regional mientras que la información para las 356 comunas de Chile se encuentra en las planillas de cálculo anexas al estudio.

4.5.1 Población Expuesta

La población expuesta que se establece para el cálculo del daño marginal de un cambio en las concentraciones de los contaminantes $PM_{2.5}$, SO_2 y NO_2 es idéntica a la utilizada en el estudio y documento final “Guía Metodológica para la Elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire – Valores Recomendados Salud” en donde se abordó el cálculo del daño marginal para $PM_{2.5}$ y O_3 .

En dicho estudio se estableció la población expuesta durante el periodo de evaluación del presente estudio (2010 – 2030). Para esto se utilizó la información que dispone el INE la cual se encuentra desagregada por región hasta el año 2020 y a nivel nacional hasta el año 2050. Para establecer la población regional hasta el año 2030 se mantuvo para el periodo 2021-2030 la distribución regional del año 2020. Finalmente, la información de población con la que se dispone se encuentra desagregada también por tramos de edad: Niños (0-17 años), Adultos1 (18-29), Adultos2 (30-64) y Adultos Mayores (65+ años), distribución obtenida a partir de los datos de la Encuesta CASEN 2006, según población rural y urbana, distribución obtenida del CENSO 2002 y según tipo de previsión (FONASA, Isapre, Particular, Otra), distribución obtenida a partir de la información de la encuesta CASEN 2006.

Para el cálculo del cambio de efectos y beneficio social solo se consideró la población urbana de cada región suponiendo que las fuentes emisoras y su área de influencia no afectan a la población rural.

4.5.2 Tasas de Incidencia

Para este estudio las tasas de incidencia se deben calcular para los efectos seleccionados y recomendados en la Sección 4.4.

Los dos grandes grupos de efectos que requieren de la estimación de sus tasas de incidencia base corresponden a los efectos de mortalidad y las admisiones hospitalarias además de los días de pérdida de trabajo. En las siguientes secciones se presenta la metodología utilizada en la determinación de estas tasas de incidencia base. Las tasas fueron calculadas a nivel regional.

4.5.2.1 Mortalidad

La tasa de mortalidad se obtuvo directamente de los datos de certificados de defunción de INE, considerando los datos de 2003 a 2007. La tasa se obtiene dividiendo el total de casos debido a una causa específica en una región en particular por la población de dicha región, obtenida de INE. Se utilizó el promedio de las tasas calculadas para los años disponibles (2003 al 2007) y ese promedio se mantuvo constante a lo largo del periodo de evaluación. Los efectos y grupos de edad que se evaluaron (ver Sección 4.4.1) implica que se cuantifican los efectos de mortalidad por exposición a largo plazo de $PM_{2.5}$ utilizando una tasa de mortalidad solo para las causas

cardiopulmonares (cardiovasculares y respiratorias) y para la población mayor a 30 años (Adultos1 (18-29), Adultos2 (30-64) y Adultos Mayores (65+)).

Adicionalmente se presentan las tasas de mortalidad para todas las causas y todas las edades en la cuantificación de los efectos de exposición a corto plazo de PM_{2.5}, que aunque no son utilizadas en el modelo de cálculo de daño marginal, estas podrían utilizarse en alguna circunstancia que no se cuantifiquen los efectos de mortalidad por exposición a largo plazo a PM_{2.5}.

Para los efectos de mortalidad no se considera un sistema de previsión específico.

Tabla 4-11 Tasas de Mortalidad Cardiopulmonar por Región (Tasa por cada 100.000 hab)

Región	Adultos1 (18-29)	Adultos2 (30-64)	Adultos Mayores (65+)
I Región - Tarapacá	3.5	70.8	1,770.0
II Región - Antofagasta	4.4	88.4	2,052.0
III Región - Atacama	4.2	80.8	2,051.1
IV Región - Coquimbo	4.2	69.6	1,888.8
V Región - Valparaíso	5.2	93.2	2,034.8
VI Región - O'Higgins	5.0	81.5	2,259.5
VII Región - Maule	7.2	95.3	2,477.2
VIII Región - Bio Bio	6.0	88.2	2,150.2
IX Región - Araucanía	5.7	86.5	2,083.2
X Región - de los Lagos	8.6	91.3	2,148.2
XI Región - Aysén	7.5	89.2	1,744.2
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	6.2	113.0	2,382.7
XIII Región - RM	5.2	76.8	2,050.7
XIV Región - de los Ríos	4.2	90.4	2,295.8
XV Región - Arica y Parinacota	4.1	78.1	1,680.8

Fuente: Elaboración Propia en base a INE

Tabla 4-12 Tasas de Mortalidad (todas las causas) por Región (Tasa por cada 100.000 hab)

Región	Ninos (0-17)	Adultos1 (18-29)	Adultos2 (30-64)	Adultos Mayores (65+)	Todos
I Región - Tarapacá	47.8	27.6	243.4	4,384.7	359.8
II Región - Antofagasta	56.5	35.1	303.3	4,912.9	424.2
III Región - Atacama	56.4	33.3	243.4	4,363.5	418.1
IV Región - Coquimbo	53.3	30.3	240.2	4,095.8	454.4
V Región - Valparaíso	48.1	29.7	291.2	4,249.0	568.3
VI Región - O'Higgins	49.9	36.3	273.9	4,641.1	495.6
VII Región - Maule	50.4	39.2	292.1	4,939.5	535.9
VIII Región - Bio Bio	51.4	34.4	307.7	4,500.9	500.3
IX Región - Araucanía	52.9	37.5	298.2	4,723.7	543.6
X Región - de los Lagos	54.3	42.5	316.6	4,723.5	513.8
XI Región - Aysén	54.0	40.5	266.5	4,103.3	373.4
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	56.0	37.6	336.9	5,065.1	554.8
XIII Región - RM	47.7	28.0	255.5	4,434.7	460.9
XIV Región - de los Ríos	52.1	35.2	315.7	4,786.1	557.6
XV Región - Arica y Parinacota	50.2	27.0	297.0	4,175.7	455.1

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.2 Morbilidad

Las tasas de admisiones hospitalarias se calcularon del mismo modo que la tasa de mortalidad, pero a partir de los datos de egresos hospitalarios de MINSALUD, disponibles para 2002 a 2006 a nivel regional. Las causas y grupos de edad que requirieron un cálculo de las tasas de admisiones hospitalarias se muestran en la siguiente tabla. Los valores de las tasas de admisiones hospitalarias específicas que se utilizaron (según grupos de edad y previsión de salud) se encuentran en las planillas anexas al estudio.

Tabla 4-13 Tasas de Admisiones Hospitalarias que son utilizadas.

Efecto	Causa	Grupo Edad
Admisiones Hospitalarias	CLD	Adultos1
		Adultos2
		Adultos Mayores
	PNEU	Adultos Mayores
	CVD	Adultos1
		Adultos2
		Adultos Mayores
	ASTH	Niños
		Adultos1
		Adultos2
RSP	Adultos Mayores	

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente se utiliza la tasa de incidencia base para las visitas a salas de emergencia por la causa de bronquitis aguda (para el grupo de edad Niños (0-17 años)), la cual no se calculó específicamente para este estudio por no contar con datos disponibles sino que se utilizó aquella reportada por Ostro (1996) correspondiente a una tasa de 51,760 casos por cada 100,000 habitantes.

4.5.2.3 Actividad Restringida

La incidencia base de días de pérdida de trabajo (WLD) se obtuvo según datos de diferentes fuentes y fue calculado con datos a nivel nacional manteniendo constante el resultado para todas las regiones de Chile. A partir de la información de egresos hospitalarios y días de hospitalización según diferentes causas a nivel nacional para el año 2008 (obtenida a partir de la página web del Ministerio de Salud siendo el año 2008 la información más actualizada disponible), se obtuvieron los días de hospitalización (que implican días de pérdida de trabajo) según sistema de previsión. Además se consideró un periodo de convalecencia suponiendo una duración equivalente al 50% del periodo de hospitalización.

Por otro lado, a partir de la Superintendencia de Isapres y de la página web de FONASA se obtuvo, para el año 2008 el número agregado de días autorizados de licencias médicas a nivel nacional, los cuales fueron distribuidos según población perteneciente al sistema de previsión FONASA e Isapre, dato que fue obtenido de la Encuesta CASEN 2009. Con esta información fue posible obtener los días laborales perdidos para los sistemas FONASA e ISAPRE por otras causas (no hospitalización ni convalecencia) los que se extrapolaron proporcionalmente (utilizando el promedio del factor Otras Causas/Hospitalización de FONASA e ISAPRE) a las otras formas de previsión (Particular, Otros). La siguiente tabla representa la metodología utilizada junto con el valor obtenido de la tasa de días laborales perdidos para los habitantes de Chile.

Tabla 4-14 Cálculo de la tasa de incidencia de días laborales perdidos a nivel nacional

Tipo Día de Perdida de Trabajo	FONASA	ISAPRE	PARTICULAR	OTROS	TOTAL	Fuente
Hospitalización	5,611,160	641,265	84,069	475,652	6,812,146	Base de Datos Egresos y días de estadía MiNSALUD 2008
Convalecencia	2,805,580	320,633	42,035	237,826	3,406,073	Estimación a partir de la duración de la hospitalización
Otras Causas	11,915,893	6,221,871	497,105	2,812,555	21,447,424	Para FONASA e ISAPRE diferencia, para el resto a partir de datos FONASA e ISAPRE.
TOTAL	20,332,632	7,183,769	623,208	3,526,033	31,665,643	
Población Afectada	13,460,061	2,167,418	586,455	368,901	16,582,835	CASEN 2009
Tasa (días/persona)	1.5	3.3	1.1	9.6	1.9	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

El valor que se aprecia en la tabla considera tanto días hábiles como no hábiles, sin embargo, para este caso el número que interesa corresponde solo a los días hábiles por lo que la tasa finalmente utilizada es igual a 1.36 días/persona (multiplicada por el factor 5/7).

La tasa de incidencia expuesta en la Tabla 4-14 incluye todos los días de hospitalizaciones y días de convalecencia de dichas hospitalizaciones. A su vez, al momento de valorizar los efectos que tienen que ver con las admisiones hospitalarias asociadas con un aumento en la concentración de algún contaminante, se considera la tasa de duración de cada efecto agregándole además un periodo de convalecencia. Esta situación implica que si se ocupa la tasa de incidencia calculada en la Tabla 4-14 se valorizaría dos veces los efectos de admisiones hospitalarias ya que también están siendo incluidos en la cuantificación de los WLD.

En el presente estudio, se han contabilizado los efectos que han sido incluidos en las admisiones hospitalarias para restarlos al momento de calcular la tasa de incidencia base de los WLD. La siguiente tabla muestra esta modificación.

Tabla 4-15 Actualización de Tasa de Incidencia para el efecto "WLD"

		FONASA	ISAPRE	PARTICULAR	OTROS	TOTAL
Valores Utilizados en Guía de Referencia	Total Días de Pérdida de Trabajo	20,332,632	7,183,769	623,208	3,526,033	31,665,643
	Población Afectada	13,460,061	2,167,418	586,455	368,901	16,582,835
	Tasa (días/persona)	1.5	3.3	1.1	9.6	1.9
	Tasa (días hábiles/persona)					1.4
Valores Actualizados	Días ya contabilizados en efectos de HA incluidos en el modelo	1,421,832	120,354	37,414	117,431	1,421,832
	Total descontando lo ya contabilizado	18,910,800	7,063,415	585,794	3,408,602	29,968,610
	Tasa (días/persona)	1.4	3.3	1.0	9.2	1.8
	Tasa (días hábiles/persona)					1.3

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los días de pérdida escolar (SLD) no se encuentra disponible la tasa de incidencia base por lo que este efecto no se cuantifica.

Para los días de actividad restringida (RAD) y días de actividad restringida leve (MRAD) se utilizaron valores de tasas de incidencia internacional (Ostro et al. 1987; Ostro et al. 1999) los que se asumieron constantes para todas las comunas del país. Finalmente, las tasas que se utilizaron para esta sección se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4-16 Tasas de Incidencia utilizadas - Días con actividad nula, restringida y restringida leve

Tipo Tasa (días/10 ⁵ hab)	Valor	Fuente
Días Laborales Perdidos	129,086	Elaboración propia
Días de Actividad Restringida	646,050	Ostro et al, 1987
Días de Act. Restringida Leve	780,005	Ostro et al, 1989

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.4 Tasas de Incidencia no Disponibles

Para el contaminante PM_{2.5}, la tasa de incidencia de los efectos de Visitas a Salas de Emergencia por el efecto Asma no se encuentra disponible por lo que estos efectos no son posibles de cuantificar.

En el caso de las funciones dosis respuesta seleccionadas para la exposición a los contaminantes SO₂ y NO₂, la tasa de incidencia para los efectos de Visitas a Salas de Emergencia por el efecto Asma, Exacerbación de Asma y el efecto "Tos" tampoco se encuentran disponibles por lo que no son cuantificados. Esto último implica que la única tasa de incidencia que se debe determinar para la cuantificación de los efectos producto de exposición a estos contaminantes (SO₂ y NO₂) es la correspondiente a Admisiones Hospitalarias por Efectos Respiratorios (ICD-9 460-519) para Adultos Mayores (65+).

4.5.3 Valorización Social de los Efectos

Se utilizan los valores recomendados en el documento guía de referencia para la elaboración de AGIES (GreenLabUC 2011). La única modificación corresponde a la valorización del efecto mortalidad prematura en donde el valor que se utiliza corresponde al recomendado en el presente documento y que corresponde a utilizar un valor de la elasticidad de la utilidad con respecto al ingreso (\mathcal{E}) de 0.4 lo que implica que el capital humano calculado se multiplica por 2.5 (7,833 UF). A este valor se le ha dado una distribución probabilística aplicada directamente a \mathcal{E} con media en 0.4 y un intervalo entre 0.3 y 0.5. Se utiliza el valor de capital humano (3133 UF) reportado por el Ministerio de Desarrollo Social (2011) por corresponder a un valor oficial. El resumen de los valores utilizados se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4-17 Valores Utilizados en la cuantificación de los efectos considerados (UF/caso)

Efecto	Causa	Grupo Edad	CM	PP	Disutilidad (WTP)	Total
Mortalidad Prematura	CPM	Adultos1 y 2			7,833	7,833
		Adultos Mayores			7,583	7,833
Admisiones Hospitalarias (HA)	CHF	Adultos Mayores	27.4	4.2		31.6
	DYS	Adultos Mayores	43.9	4.1		48.1
	IHD	Adultos Mayores	20.9	3.5		24.4
	CLD	Adultos1 y 2	27.4	3.6		31.0
		Adultos Mayores	27.4	4.2		31.6
	PNEU	Adultos Mayores	29.4	4.8		34.2
	CVD	Adultos1 y 2	45.3	3.6		48.9
		Adultos Mayores	43.9	4.8		48.7
	ASTH	Niños	21.0	1.1		22.1
		Adultos1 y 2	21.0	3.1		24.1
RSP	Adultos Mayores	29.4	4.7		34.1	
Visitas Salas Emergencia (ERV)	ASTH - BRO	Niños	0.8	0.3		1.1
		Adultos1 y 2	0.8	0.3		1.1
Días de Colegio Perdidos (SCL)		Niños		0.2		0.2
Días Laborales Perdidos (WLD)		Adultos1 y 2		0.7		0.7
Días con Actividad Restringida (RAD)		Adultos1 y 2		0.2		0.2
Días con Act. Rest. Leve (MRAD)		Adultos1 y 2		0.0		0.0

Fuente: Elaboración propia en base a GreenLabUC (2011)

4.5.4 Daño Marginal

A continuación se presenta el valor del daño marginal para cada una de las regiones de Chile considerando los efectos que se seleccionaron y las valoraciones que se le asignaron. Los resultados se presentan separadamente para PM_{2.5} (USD/[ug/m³]), SO₂ (USD/[ppbSO₂]) y NO₂ (USD/[ppbNO₂]).

Tabla 4-18 Daño Marginal Contaminante PM_{2.5} según Región – Año 2012

	PM2.5 (Millones USD/[ug/m3])	
	Media	IC 95%
I Región - Tarapacá	1.9	[1.1 - 3.3]
II Región - Antofagasta	3.9	[2.3 - 6.7]
III Región - Atacama	1.4	[0.9 - 2.5]
IV Región - Coquimbo	4.3	[2.5 - 7.5]
V Región - Valparaíso	13.8	[7.9 - 24]
VI Región - O'Higgins	5.5	[3.1 - 9.5]
VII Región - Maule	6.6	[3.7 - 11.4]
VIII Región - Bio Bio	21.2	[12 - 37.1]
IX Región - Araucanía	5.4	[3.1 - 9.3]
X Región - de los Lagos	4.7	[2.7 - 8.2]
XI Región - Aysén	0.5	[0.3 - 0.9]
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	1.6	[0.9 - 2.8]
XIII Región - RM	45.7	[26.5 - 78.9]
XIV Región - de los Ríos	2.6	[1.5 - 4.5]
XV Región - Arica y Parinacota	1.1	[0.6 - 1.9]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-19 Daño Marginal Contaminantes SO₂ y NO₂ según Región – Año 2012

	SO ₂ (USD/ppbSO ₂)		NO ₂ (USD/ppbNO ₂)	
	Media	IC 95%	Media	IC 95%
I Región - Tarapacá	330	[18 - 643]	1,412	[236 – 2,588]
II Región - Antofagasta	1,135	[63 – 2,206]	4,848	[810 – 8,886]
III Región - Atacama	504	[28 - 981]	2,154	[360 – 3,949]
IV Región - Coquimbo	1,179	[66 – 2,293]	5,038	[841 – 9,235]
V Región - Valparaíso	5,261	[293 – 10,230]	22,475	[3,753 – 41,197]
VI Región - O'Higgins	1,774	[99 – 3,450]	7,580	[1,266 – 13,894]
VII Región - Maule	2,064	[115 – 4,014]	8,819	[1,473 – 16,165]
VIII Región - Bio Bio	7,439	[414 – 14,464]	31,778	[5,307 – 58,248]
IX Región - Araucanía	3,177	[177 – 6,178]	13,573	[2,267 – 24,878]
X Región - de los Lagos	1,720	[96 – 3,343]	7,346	[1,227 – 13,465]
XI Región - Aysén	332	[19 - 646]	1,420	[237 – 2,603]
XII Región - Magallanes y Antártica Chilena	444	[25 - 864]	1,898	[317 – 3,480]
XIII Región - RM	12,612	[702 – 24,522]	53,877	[8,997 – 98,756]
XIV Región - de los Ríos	1,240	[69 – 2,411]	5,296	[885 – 9,708]
XV Región - Arica y Parinacota	228	[13 - 443]	973	[163 – 1,784]

Fuente: Elaboración propia

4.6 Modelo Computacional

Se entrega como archivo adjunto el modelo computacional de cálculo de daño marginal desarrollado para cada uno de los contaminantes. En el presente informe se analiza el PM_{2.5}, SO₂ y NO₂, mientras que en GreenLabUC (2011) se analizó también el contaminante O₃. El cálculo del daño marginal de los cuatro contaminantes recién nombrados se encuentra incluido en el modelo desarrollado en el programa Analytica.

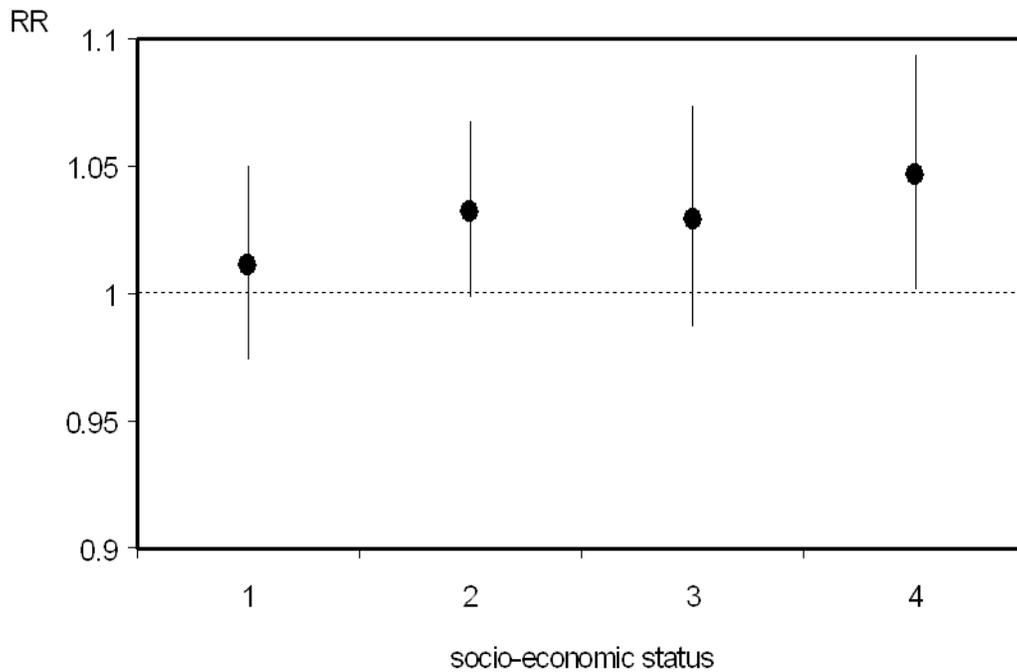
Este modelo incluye todo lo desarrollado en GreenLabUC (2011) y en el presente estudio relativo al cálculo de daño marginal según contaminante y a nivel comunal.

La aplicación computacional lee toda la información *input* y entrega los resultados correspondientes al daño marginal por comuna según contaminante y su distribución según agente económico. Adicionalmente se pueden visualizar pasos y resultados intermedios. Adicionalmente el modelo permite el cálculo del daño marginal y análisis distributivo según región y provincia.

5. Análisis Distributivo

Diferentes estudios demuestran que a mayor NSE menor es el riesgo relativo asociado con la exposición de contaminantes locales, esto supone que los efectos de la contaminación del aire podrían ser mayores en población de menos recursos económicos. Las siguientes figuras muestran esta relación.

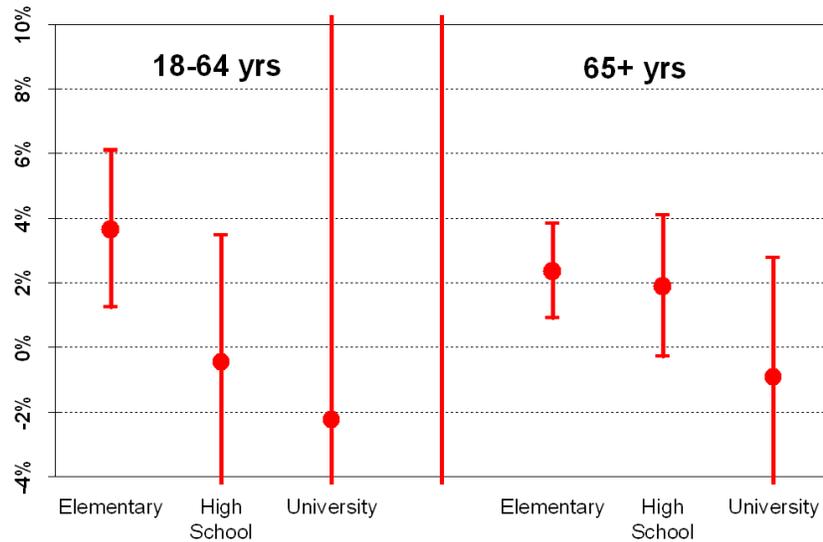
Figura 5-1 Riesgo relativo (IC 95%) para todas las causas de mortalidad por un incremento en los niveles de PM₁₀ de acuerdo a clasificación socioeconómica



Nota: Estatus 1 corresponde a la población más rica mientras que 4 corresponde a la población más pobre.

Fuente: Gouveia N. & T. Fletcher (2000)

Figura 5-2 Riesgo relativo según Nivel de Educación por causas de mortalidad para un incremento en los niveles de $PM_{2.5}$



Fuente: Cifuentes, Vega et al. (1999)

En el presente estudio se buscó realizar un ejercicio similar a lo expuesto por los gráficos anteriores utilizando como proxy del nivel socioeconómico (NSE), el nivel educacional para el efecto de mortalidad prematura y el sistema de previsión para los efectos de morbilidad (admisiones hospitalarias). Adicionalmente se realizó un análisis según indicadores de NSE obtenidos a través de las características socioeconómicas comunales de las comunas de la provincia de Santiago.

En términos generales, lo que se realizó en el presente estudio fue trabajar los datos históricos de eventos mortalidad y egresos hospitalarios (según su proxy de NSE) de las comunas de Santiago junto con los datos de concentraciones ambientales históricas de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para intentar establecer una relación entre ellos (cálculo del coeficiente de riesgo unitario) y establecer de esta manera la existencia o no existencia de una relación entre el nivel socioeconómico de la población afectada y el riesgo relativo de sufrir alguno de los efectos asociados a la contaminación atmosférica.

Lamentablemente, los resultados obtenidos de este ejercicio no son concluyentes ni se acercan a los resultados que se esperaban por lo que no son posibles de aplicar, al menos por el momento, en la distribución de beneficios producto de una disminución de la concentración ambiental de contaminantes.

Debido a esto último, se ha realizado una revisión bibliográfica de documentos que generen resultados de coeficientes de riesgo unitario según nivel socioeconómico para intentar aplicar dichos resultados al presente estudio. Este análisis se presenta en la Sección 5.2 mientras que la

metodología propia utilizada para la obtención de los coeficientes de riesgo unitario según NSE, la información utilizada en este caso y finalmente los resultados de los modelos estadísticos estudiados se presentan en la Sección 5.1.

5.1 Estudio de coeficientes de riesgo unitario según NSE

5.1.1 Metodología utilizada

5.1.1.1 Mortalidad Prematura

Se analizaron las bases de datos de los certificados de defunción del INE considerando el nivel de educación y la comuna de residencia del afectado. Para clasificar el nivel de educación se utilizaron las siguientes categorías.

Tabla 5-1 Clasificación según Nivel Educación

Código INE	Significado	Descripción	Código Utilizado en el presente Estudio
1	Sin Educación	Sin Educación	SE
2	1 a 6 años de Educación	Educación Básica	BAS
3	7 a 12 años de Educación	Educación Media	MED
4	Más de 13+ años de Educación	Educación Superior	SUP

Fuente: Elaboración propia en base INE

Se elaboró la cuenta diaria de casos para el efecto de Mortalidad Cardiopulmonar (CPM) para el grupo de edad de mayores a 30 años y el efecto Mortalidad Todas las Causas (ALL) y todas las edades (ALL)⁵⁴ según el nivel de educación y clasificación de comunas según NSE (Tipo A y B).

Adicionalmente, según la comuna de residencia del afectado, fue elaborada la cuenta diaria según dos clasificaciones comunales que tienen relación con el nivel socioeconómico de estas (Ver Anexo II para el detalle de esta clasificación).

Tanto para el análisis de mortalidad prematura como el de admisiones hospitalarias (ver Sección 5.1.1.2) se elaboró, con los datos disponibles por el consultor, una base de datos de concentraciones históricas diarias para los monitores de la provincia de Santiago (contaminantes PM_{2.5} y PM₁₀) junto con datos diarios de humedad y temperatura.

Con esta información y con la realización de un modelo estadístico en el programa R, se construyeron modelos para obtener los coeficientes de riesgo unitario.

⁵⁴ Se realizó el ejercicio para estos efectos y grupos de edad debido a que estas son las funciones dosis respuesta que se recomiendan de utilizar en la Guía de referencia y en el presente documento.

Se corrieron dos tipos de modelos con la inclusión de los contaminantes $PM_{2.5}$ y $PM_{10-2.5}$:

- ✓ PDLM (Polynomial Distributed Lag Model Array) con lags de 7 días además de “Overall”
- ✓ SLAG (Single Lag Model Array) con lags de 5 días y promedio móvil de 1 a 5 días.

Los resultados de estos modelos se pueden apreciar en la Sección 5.1.3. En particular solo se muestran los resultados de “Overall”.

5.1.1.2 Admisiones Hospitalarias

La metodología utilizada para este análisis es idéntica a la utilizada en el análisis de mortalidad prematura a diferencia de que el proxy del NSE corresponde al sistema de previsión del afectado. Se utilizó una clasificación creada por el consultor que cruza la información relativa al sistema de previsión y el tipo de beneficiario que es el afectado, datos establecidos en la base de datos de egresos hospitalarios de MINSAL. Las siguientes tablas muestran esta clasificación.

Tabla 5-2 Clasificación según Tipo de Beneficiario

Código MINSAL	Condicion de egreso	Descripcion
0	OTROS (ISAPRE , PÁRTICULAR, LEY ACCIDENTES, ETC)	
1	Beneficiario A	FONASA nivel A
2	Beneficiario B	FONASA nivel B
3	Beneficiario C	FONASA nivel C
4	Beneficiario D	FONASA nivel D
5	Libre Elección	FONASA O ISAPRE
6	AUGE-GES	Auge-GES (Garantías Explícitas en Salud, incorporación progresiva de enfermedades desde 2005)

Fuente: MINSAL

Tabla 5-3 Clasificación según Tipo de Previsión

Codigo MINSAL	Tipo de previsión	Tipo de previsión clasificación consultor
1	Ley 18.469 (Ley FONASA)	FONASA
2	Ley 16.744 (Accidente de trabajo)	ACCIDENTES
3	Ley 16.744 (Accidente escolar)	ACCIDENTES
4	Ley 18.490 (Accidente de transporte)	ACCIDENTES
5	ISAPRE	ISAPRE
6	Particular	PARTICULARES
7	Otro	OTROS

9	Ignorado.	Ignorado
8	L.E.	Ignorado

Fuente: Elaboración propia en base a MINSAL

Tabla 5-4 Clasificación utilizada en el presente estudio según Sistema de Previsión

Código utilizado en el presente estudio	Tipo Previsión (Consultor)	Beneficiario	Descripción	Observaciones
FA	FONASA	Beneficiario A	FONASA A	
FB	FONASA	Beneficiario B	FONASA B	
FC	FONASA	Beneficiario C	FONASA C	
FD	FONASA	Beneficiario D	FONASA D	
ISAPRE	Isapre	OTROS + Libre elección + Auge + Ignorado	ISAPRE	
OTROS	PARTICULARES + ACCIDENTES + OTROS + IGNORADO		OTROS	Datos que poseían un cruce entre ISAPRE (previsión) y FONASA A-B-C-D (beneficiario) también se clasificaron como ignorados. Libre elección, Auge y Ignorados de beneficiario también se consideraron como OTROS.

Se elaboró la cuenta diaria de casos para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias (ICD J000–J953 and J980-J998, R065) y por causas Cardiovasculares (ICD G450-G452, G454, G458-G468 G936, G938, G951, I000-I879, I890-I891, I898-I978, I980-I990, R001, R008, R012) para tres grupos de edad (0-17; 18-64; 65+)⁵⁵ según sistema de previsión y clasificación de comunas según NSE (Tipo A y B).

5.1.2 Información Utilizada

Se trabajó para la obtención de 3 base de datos que permitieron el análisis; Base de Datos de Concentraciones Ambientales de Contaminantes, Base de Datos de Mortalidad y Base de Datos de Egresos Hospitalarios. A continuación se presenta la descripción de cada una de ellas.

BD Concentraciones Ambientales

⁵⁵ Se realizó el ejercicio para estos efectos y grupos de edad debido a que estas son las funciones dosis respuesta que se recomiendan de utilizar en la Guía de referencia y en el presente documento.

Se construyó una base de datos con la información disponible de concentración diaria de contaminantes para los monitores de la Región Metropolitana y datos meteorológicos (Temperatura y Humedad). Las fuentes de información de esta base de datos corresponden a Chilepollution, CONAMA, CONAMA RM y Airviro⁵⁶.

Con respecto a la completitud de la información conseguida, esta se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 5-5 Completitud de la base de datos de concentraciones para PM_{2.5}

Moni tor/ Año	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
A			365	365	366	365	365	365	283												
B	241	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365									
F	241	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365									
L													366	365	365	365	366	365	365	365	366
M	216	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
N	213	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
O													366	365	365	365	366	365	365	365	366
P																					
Q																					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-6 Completitud de la base de datos de concentraciones para PM₁₀

Moni tor/ Año	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
A			365	365	366	365	365	365	283												
B	241	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365						
F	241	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
L										218	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
M	216	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
N	213	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
O										272	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
P																			365	365	366
Q										271	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366

Fuente: Elaboración propia

Según esta información, los únicos monitores que se pueden utilizar para poseer la cantidad de datos suficientes para construir un modelo estadístico confiable corresponden a los monitores

⁵⁶ Chilepollution: Datos Meteorológicos 1988 – 2006 y Datos PM10, PM2.5 1988 – 2005
Airviro: Datos PM10, PM2.5 y Meteorológicos 2006 - 2008

M y N. Finalmente el consultor decidió utilizar las concentraciones de contaminantes correspondientes al monitor N el cual corresponde al monitor ubicado en el Parque O'Higgins por presentar mayor confiabilidad en los datos.

Cabe destacar que estos datos de concentraciones utilizados no son oficiales (fueron trabajados por el consultor según diferentes fuentes) por lo que sería de gran utilidad que la contraparte entregara una base de datos oficial de concentraciones de todos los monitores para realizar los modelos nuevamente y analizar los resultados que se obtendrían esperando que estos sean más cercanos a lo que se esperaba concluir (relación positiva entre NSE y riesgo relativo asociado a la exposición a contaminantes locales).

Base de Datos Mortalidad

A partir de los datos de certificados de defunción de INE para el periodo 1997 – 2009, se construyó la base de datos de mortalidad la cual posee el dato de nivel de educación del afectado y la comuna de residencia de este entre otros.

Debido a que la base de datos de concentraciones tiene una completitud de datos para el periodo 1988-2008, los datos utilizados para realizar en análisis de mortalidad prematura corresponden al periodo 1997-2008.

Base de Datos Egresos Hospitalarios

A partir de los datos de egresos hospitalarios de MINSAL para el periodo 2002 – 2007, se construyó la base de datos de admisiones hospitalarias la cual posee el dato de sistema de previsión y la comuna de residencia de este entre otros.

Debido a que la base de datos de concentraciones tiene una completitud de datos para el periodo 1988-2008, los datos utilizados para realizar en análisis de admisiones hospitalarias corresponden al periodo 2002-2007.

5.1.3 Resultados

A continuación se presentan los resultados de los modelos estadísticos analizados para establecer una relación entre el riesgo relativo a los efectos asociados a la exposición a contaminantes locales y el NSE. Se presentan los siguientes resultados:

Tabla 5-7 Modelos estadísticos analizados

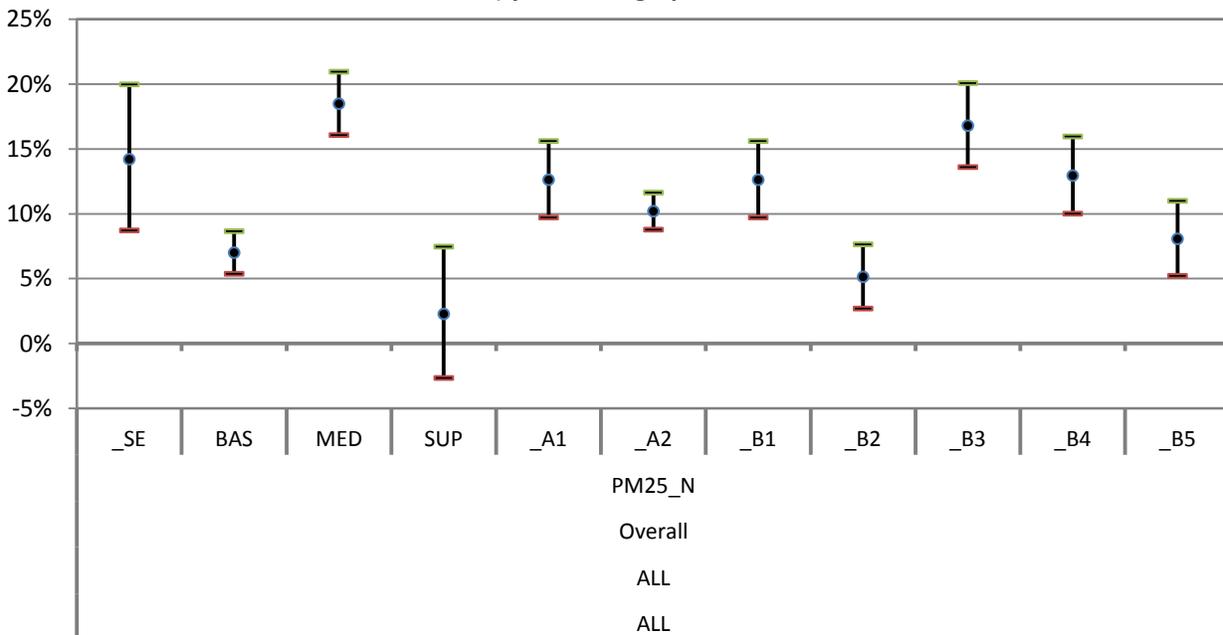
Tipo de Efecto	Proxy NSE	Causa	Grupo de Edad
Mortalidad Prematura	Nivel de Educación / Comuna Tipo A / Comuna Tipo B	CPM	30+
		ALL	ALL
Admisiones Hospitalarias	Sistema de Previsión / Comuna Tipo A / Comuna Tipo B	RSP	0-17
			18-64
			65+
		CVD	18-64
			65+

Fuente: Elaboración propia

Como se podrá apreciar en las figuras que se presentan a continuación, los resultados obtenidos no entregan información útil para realizar un análisis distributivo de los beneficios valorados por una mejora en la calidad del aire según NSE debido a que los resultados no confirman la hipótesis original de la existencia de una relación entre el NSE y el riesgo relativo (a menor NSE el riesgo relativo de los efectos asociados a la exposición de contaminantes debiera ser mayor).

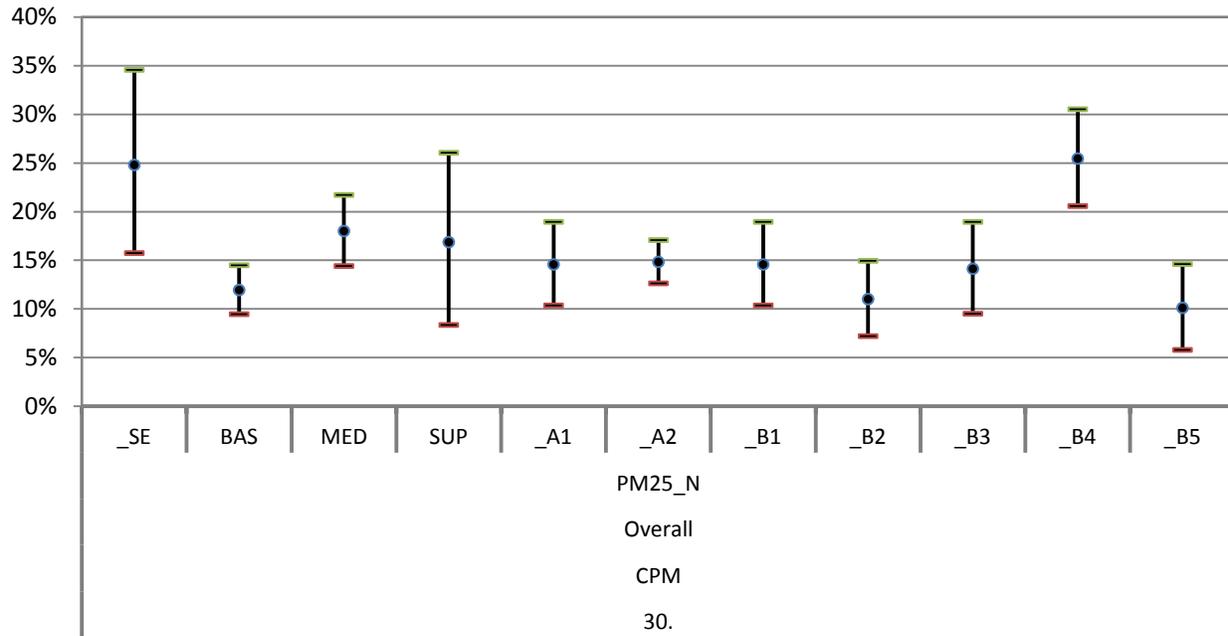
5.1.3.1 Mortalidad Prematura

Figura 5-3 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Mortalidad (todas las causas) y todos los grupos de edad



Fuente: Elaboración propia

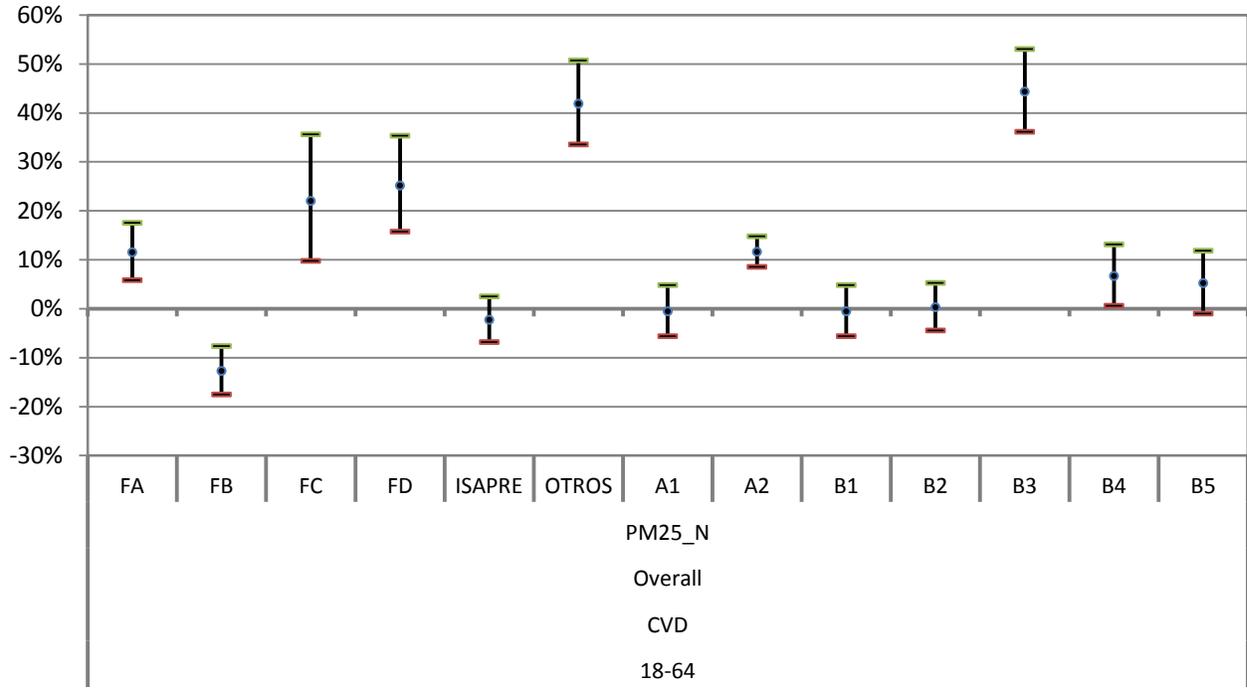
Figura 5-4 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Mortalidad Cardiopulmonar Mayores a 30 años



Fuente: Elaboración propia

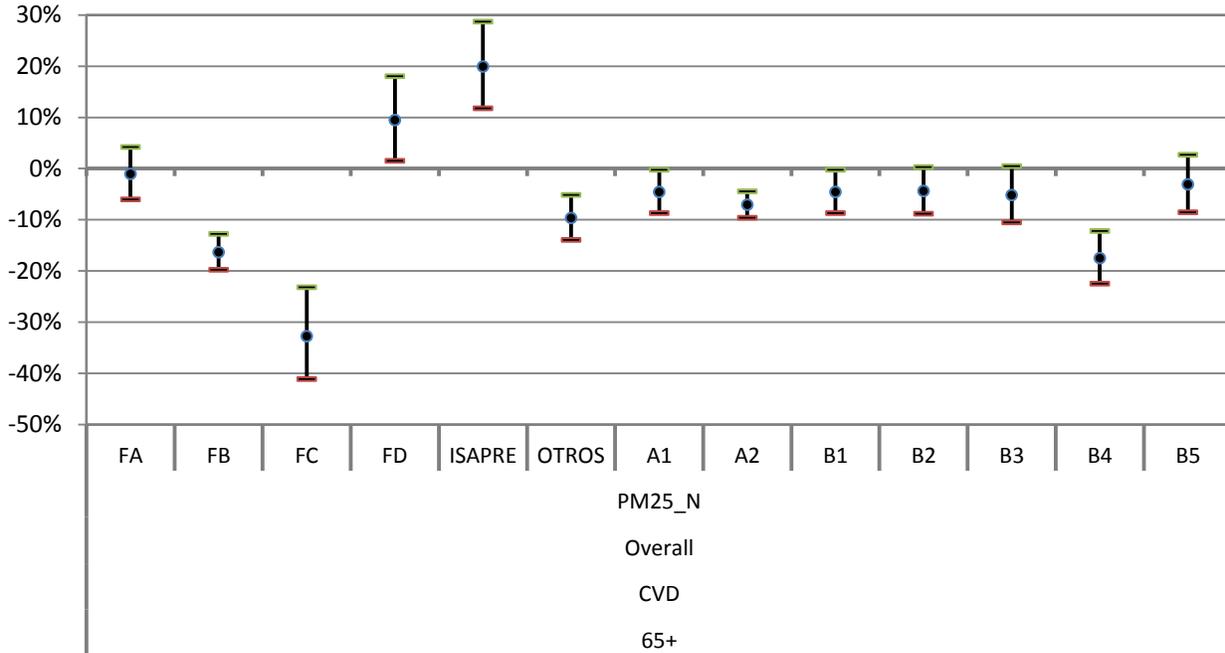
5.1.3.2 Admisiones Hospitalarias

Figura 5-5 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Cardiovasculares – Grupo de Edad: 18-64



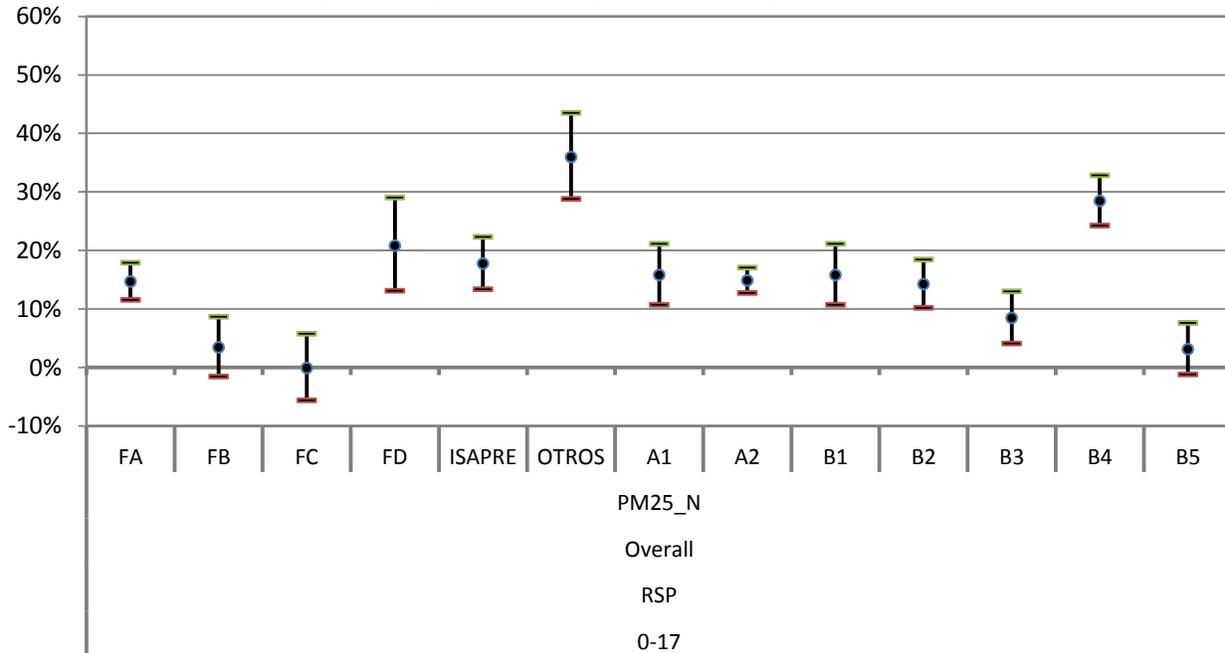
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-6 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Cardiovasculares – Grupo de Edad: 65+



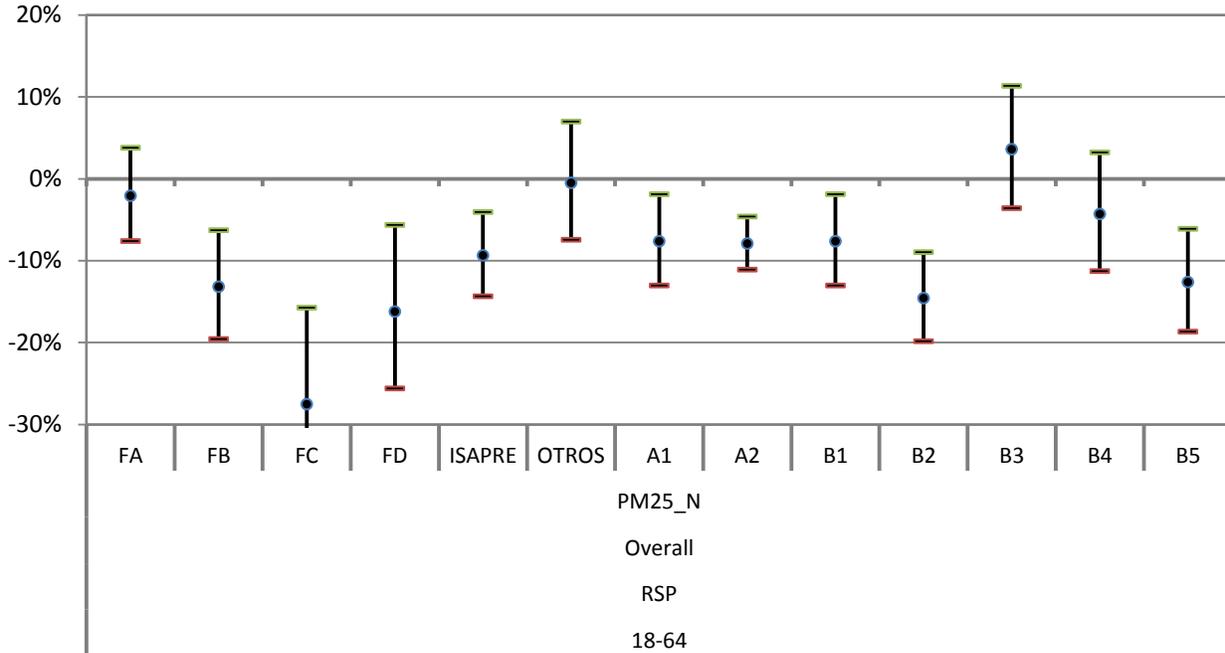
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-7 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 0-17



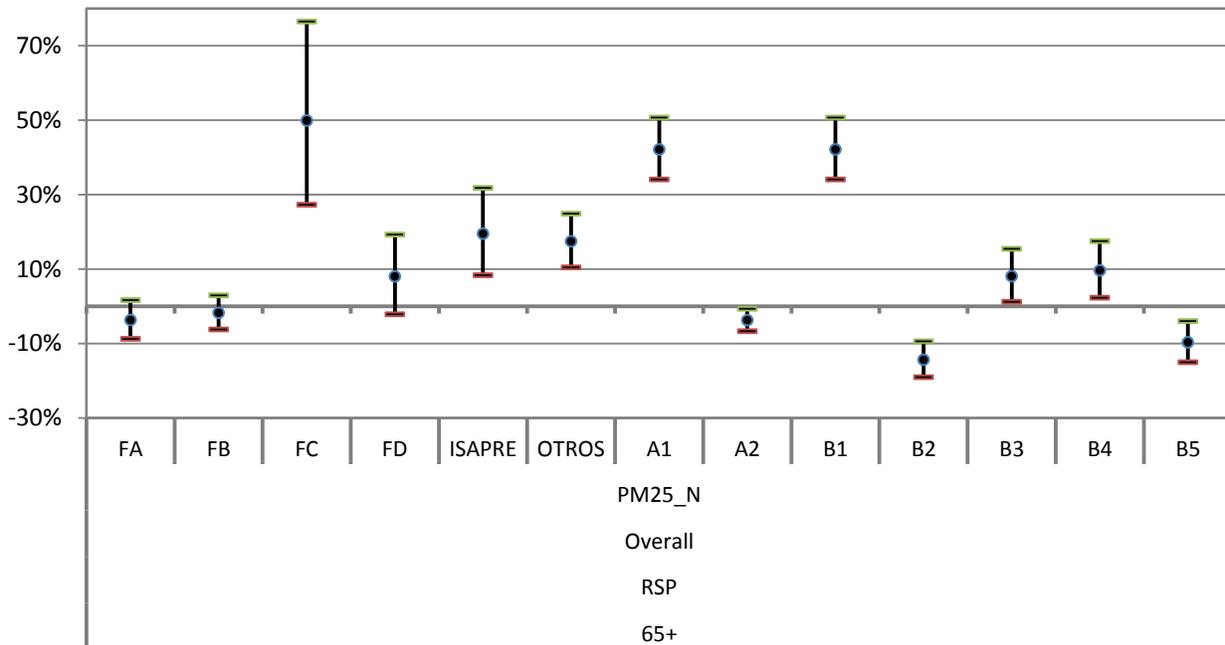
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-8 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 18-64



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-9 Riesgo Relativo (IC 95%) asociado a un incremento de 10 ug/m3 de PM_{2.5} para Admisiones Hospitalarias por causas Respiratorias – Grupo de Edad: 65+



Fuente: Elaboración propia

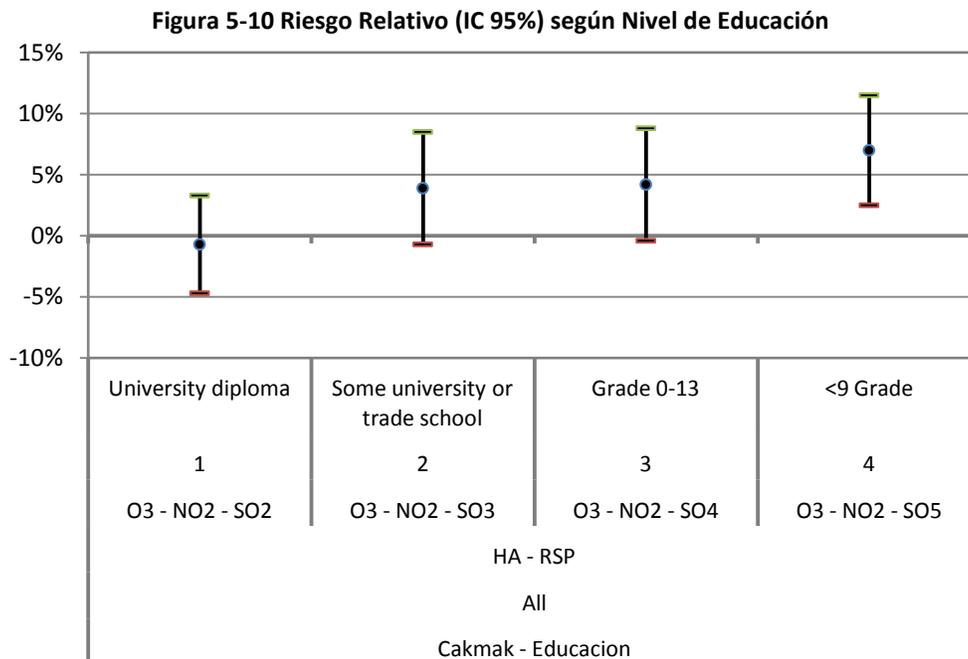
5.2 Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda de documentos, tanto nacionales como internacionales, que presentaran resultados de generación de coeficientes de riesgo unitario según algún proxi de NSE. Dentro de los documentos revisados se destacan 4 de ellos, los cuales se describen y presentan sus resultados a continuación.

- ✓ Cakmak Sabit, Dales Robert E., et al. (2006). "Respiratory health effects of air pollution gases: modification by education and income." Archives of Environmental & Occupational Health 61(1): 5-10.

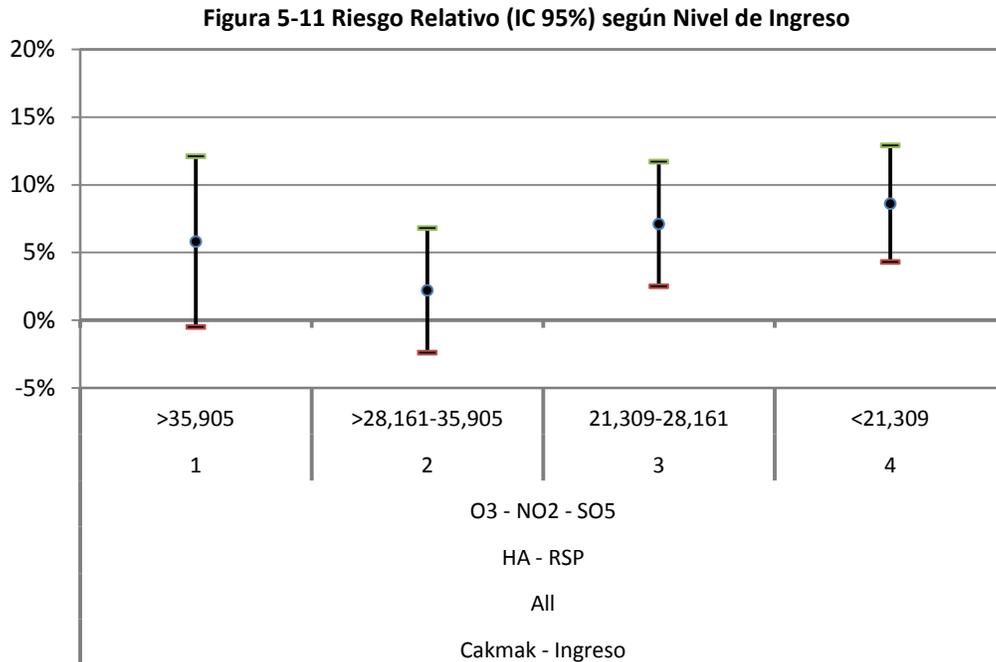
Documento que intenta determinar si es que el ingreso y el nivel de educación modifican el efecto de la contaminación del aire en las admisiones hospitalarias por causas respiratorias con datos de 10 ciudades de Canadá.

Se presentan resultados de coeficientes de riesgo unitario para modelos de un contaminante y un modelo multi contaminante que incluye al Ozono, NO₂ y SO₂. El análisis se presenta para cuatro niveles de educación: menos de 9 años de educación, entre 9 y 13 años de educación, algún año de universidad o escuela de comercio, y por último, diploma universitario. Para los niveles de ingreso, los autores generaron también cuartiles de ingreso. Los resultados se muestran en las siguientes figuras.



Fuente: Elaboración propia en base a Cakmak Sabit, Dales Robert E., et al. (2006)

Como se aprecia, existe una tendencia de aumento de riesgo mientras se disminuye el nivel de educación. Sin embargo, en 3 de los niveles, los resultados no son significativos.

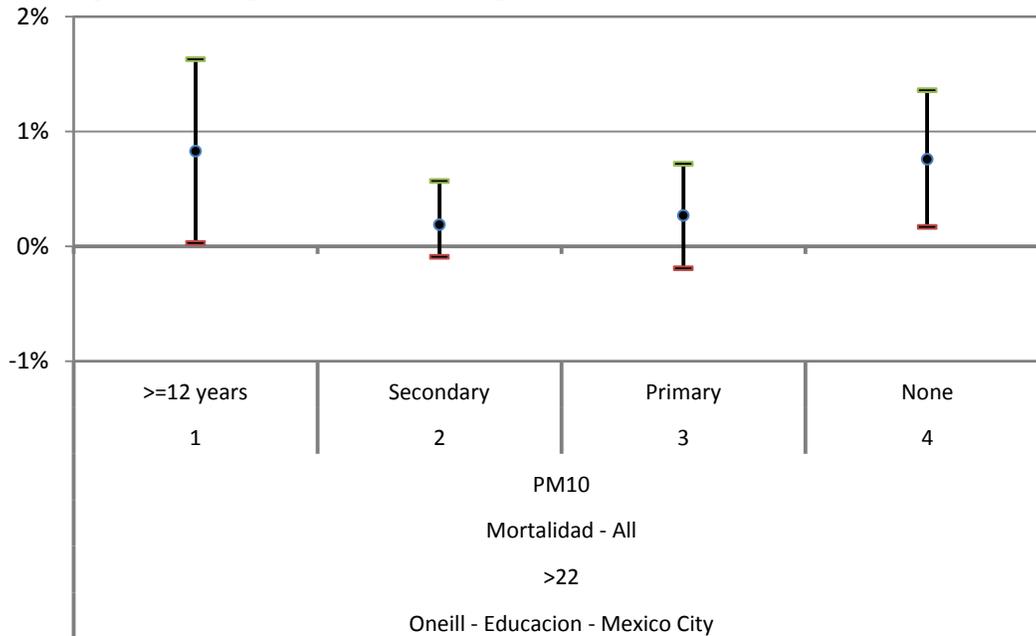


Si observamos los resultados de los coeficientes de riesgo unitario según ingreso, no se observa una tendencia clara de aumento de riesgo a medida que el ingreso es menor. Para los niveles 1, 2 y 3 se observa una tendencia de aumento, pero el nivel de ingreso 1 indica un riesgo relativo mucho mayor a los otros lo que se podría explicar producto de que las personas con mayor ingreso también tienen un acceso mayor a los servicios de salud. Adicionalmente, en dos de los resultados (nivel 1 y 2), estos no resultan ser significativos con un nivel de confianza del 95%.

- ✓ O'Neil, Bell, et al. (2008). "Air Pollution and Mortality in Latin America: The Role of Education." *Epidemiology* 19(6): 810-819.

Este estudio examina, para tres ciudades de Latinoamérica, si es que el nivel de educación modifica la asociación entre mortalidad y la concentración del contaminante PM₁₀. Las ciudades analizadas corresponden a Ciudad de México, Sao Paulo y Santiago de Chile y los resultados que se presentan en las siguientes figuras corresponden al aumento de riesgo relativo asociado a un aumento de la concentración de PM₁₀ para causas de mortalidad para la población mayor a 22 años.

Figura 5-12 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Ciudad de Mexico

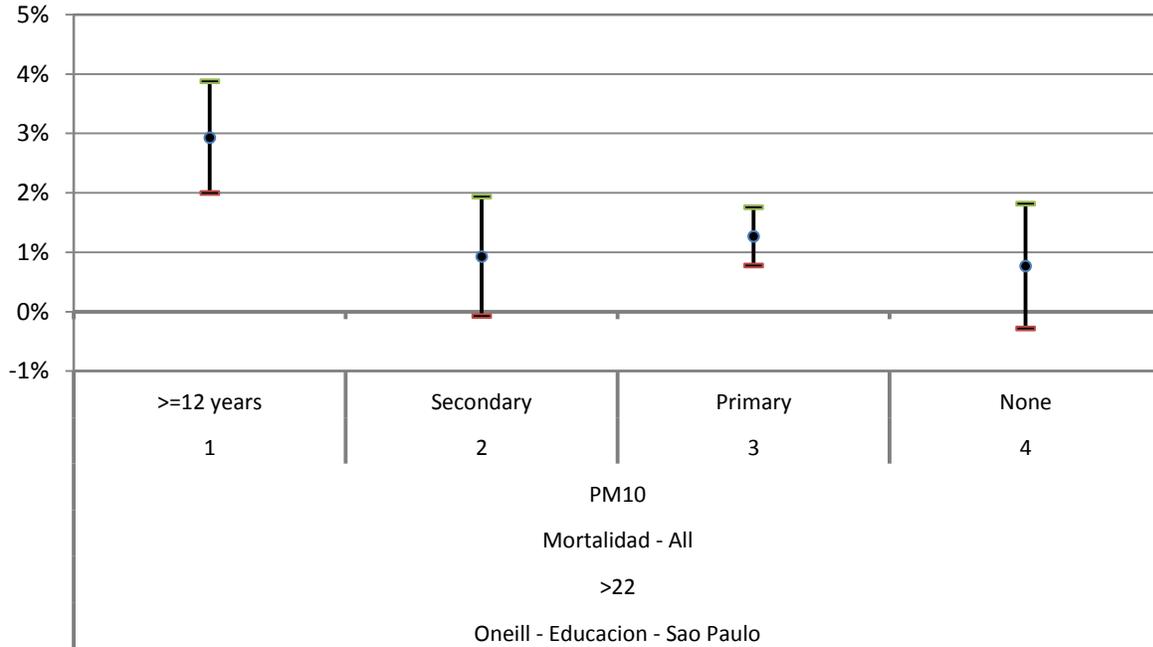


Fuente: Elaboración propia en base a O'Neil, Bell, et al. (2008)

Para Ciudad de México no se observa una tendencia clara de aumento de riesgo relativo a medida que el nivel de educación disminuye mientras que dos de los coeficientes de riesgo unitario (Nivel 2 y 3) no son estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95%.

Para Sao Paulo, como se aprecia en la siguiente figura, tampoco existe ningún resultado concluyente sobre asociación entre mayor riesgo relativo a medida que disminuye el nivel de educación.

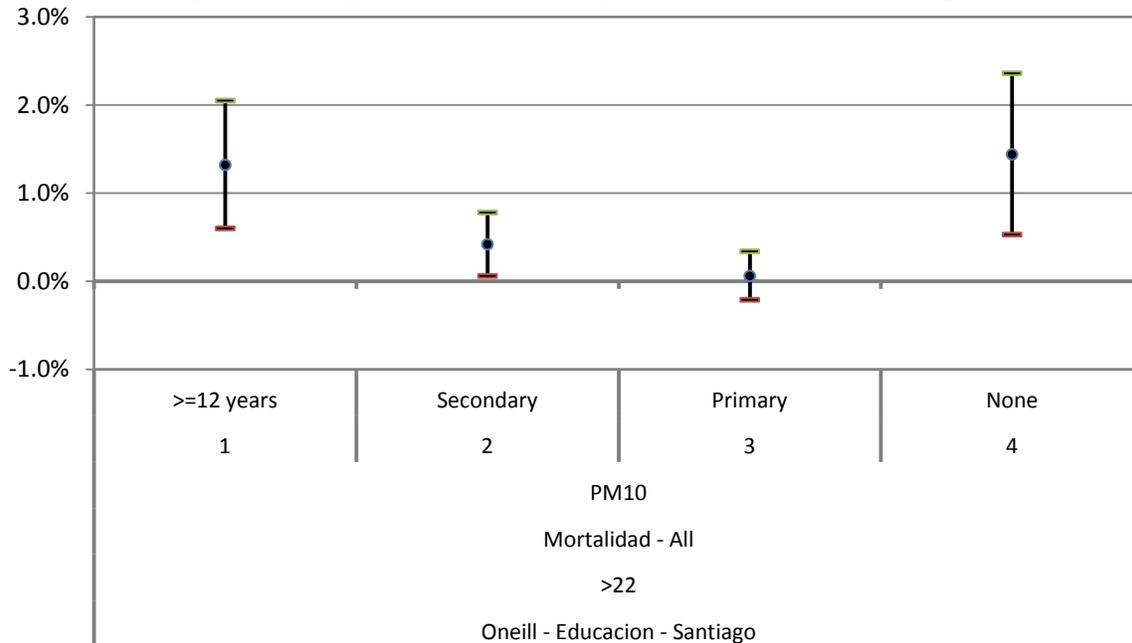
Figura 5-13 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Sao Paulo



Fuente: Elaboración propia en base a O'Neil, Bell, et al. (2008)

Por último, podemos ver lo que ocurre para Santiago de Chile en la siguiente figura.

Figura 5-14 Riesgo Relativo (IC 95%) según Nivel de Educación – Santiago



Fuente: Elaboración propia en base a O'Neil, Bell, et al. (2008)

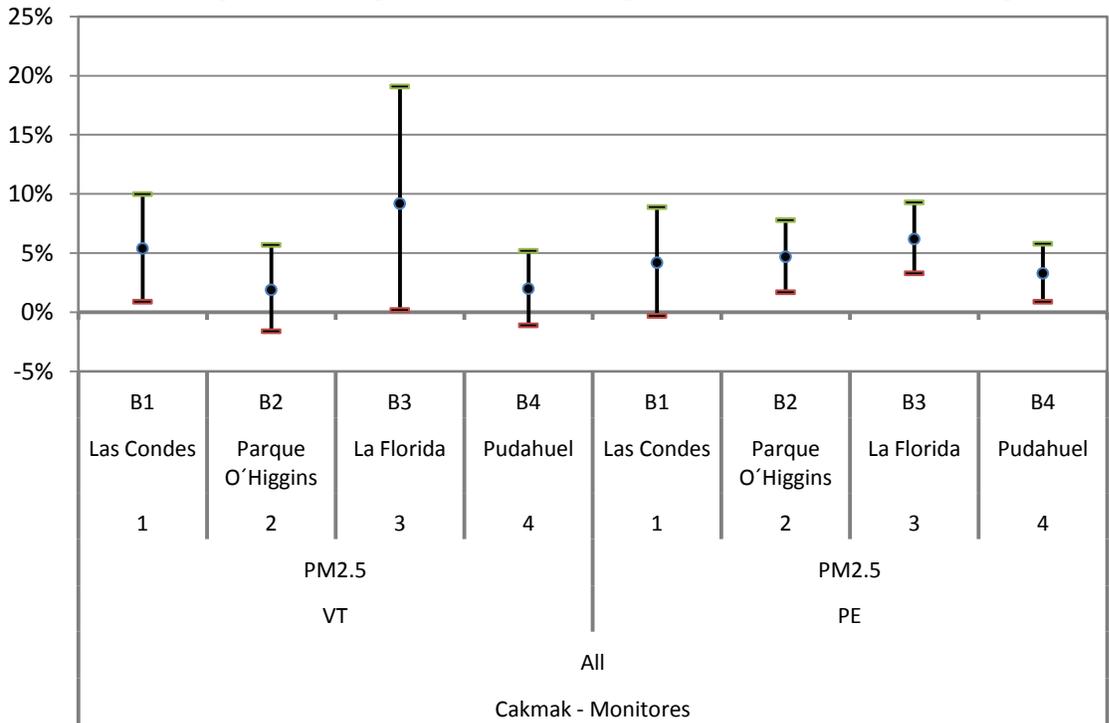
A pesar que los resultados muestran que la población sin ningún nivel de educación poseen un riesgo mayor en comparación con aquella que posee un nivel de educación primario, secundario y universitario, el nivel de riesgo es muy similar a aquel correspondiente al nivel universitario (≥ 12 años) y no existe ninguna evidencia en base a estos resultados de que el riesgo aumente a medida que el nivel de educación disminuye.

- ✓ Dales, R. E., S. Cakmak, et al. (2010). "Air pollution and hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile." *Journal of Thrombosis and Haemostasis* 8(4): 669-674.

Tanto este documento como Cakmak, Dales et al. (2007), el cual se describirá posteriormente, no tuvieron como objetivo estudiar la relación entre el nivel socioeconómico y el riesgo, sin embargo, estos publican coeficientes de riesgo unitario para monitores específicos de la Región Metropolitana considerando la población asociada a dicho monitor. Estos monitores los utilizamos para asignarles, de acuerdo a la comuna donde se encuentran, la clasificación comunal según NSE (ver Anexo II) que se utilizó para la generación propia de los coeficientes de riesgo unitario expuestos en la Sección 5.1 y así analizar si es que se observa alguna tendencia entre el nivel socioeconómico de la comuna y el riesgo relativo.

Dales, Cakmak et al. (2010) estudia la relación entre los contaminantes CO, O₃, NO₂, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} y las admisiones hospitalarias por Trombosis Venosa (VT) y Embolia Pulmonar (PE) de la población de todas las edades. Los resultados que se presentan a continuación son aquellos asociados al contaminante PM_{2.5}.

Figura 5-15 Riesgo Relativo (IC 95%) según Clasificación Comunal – Santiago



Fuente: Elaboración propia en base a Dales, Cakmak et al. (2010)

En este caso, tampoco existe ninguna tendencia clara que permita concluir una asociación entre nivel de ingreso de la comuna y el riesgo relativo asociado a las admisiones hospitalarias estudiadas por los autores.

- ✓ Cakmak, S., R. E. Dales, et al. (2007). "Air Pollution and Mortality in Chile: Susceptibility among the Elderly." *Environ Health Perspect* 115(4).

El último estudio analizado tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la concentración de contaminantes ambientales sobre la población general en comparación con la población de adultos mayores. Como se comentó anteriormente, se utilizan para el presente análisis los resultados publicados según monitor correspondientes al contaminante PM10. La siguiente tabla muestra estos.

Tabla 5-8 Incremento de Riesgo Relativo según Clasificación Comunal

Monitor	Clasificación Comuna	Causa	% Inc. RR	t-ratio	c/r a Pooled City - Single
Las Condes	B1	All - NoAcc	8.37	1.85	0.98
Cerrillos	B2		11.26	6.64	1.32
Independencia	B2		13.08	5.42	1.53
Stgo Centro (Parque O'higgins)	B2		11.45	5.83	1.34
La Florida	B3		8.9	13.08	1.04
Pudahuel	B4		5.77	3.46	0.68
El Bosque	B5		12.29	7.33	1.44
Pooled city - Single Pollutant		All -	8.54	5.14	
Pooled city - Multi Pollutant		NoAcc	6.96	4.02	

Fuente: Elaboración propia en base a Cakmak, S., R. E. Dales, et al. (2007)

En la tabla anterior se puede observar que no existe ninguna tendencia de aumento del riesgo relativo a medida que disminuye el NSE de la comuna por lo que tampoco se puede obtener ningún resultado concluyente.

5.3 Conclusiones

A pesar de realizar todo el esfuerzo de encontrar una relación entre el NSE utilizando como proxi de este tanto el nivel de educación, el nivel de ingreso y dos tipos de clasificación de NSE comunal para la Región Metropolitana, no fue posible encontrar una tendencia que indicara que a medida que disminuye el NSE, aumenta el riesgo de sufrir un evento de mortalidad o admisiones hospitalarias.

El análisis que se realizó particularmente para este estudio no generó ningún resultado concluyente (ver Sección 5.1) por lo que se intentó utilizar resultados que hayan sido generados por otros estudios. Con respecto a los otros estudios analizados, solo Cakmak Sabit, Dales Robert E., et al. (2006) reporta una tendencia entre el nivel de educación y el aumento de riesgo relativo de las admisiones hospitalarias por causas respiratorias producto del aumento de las concentraciones ambientales de O₃, SO₂ y NO₂. Este mismo documento, al analizar esta misma tendencia pero esta vez según el ingreso, no reporta ningún resultado concluyente.

Debido a la falta de evidencia, no se recomienda aplicar un análisis distributivo de los beneficios asociados a una disminución de la contaminación atmosférica según nivel socioeconómico hasta que exista mayor evidencia empírica de que se cumple la relación que un nivel socioeconómico menor implica un nivel de riesgo mayor.

6. Refinar metodología de cálculo de beneficios de guía de referencia

Se realizaron las revisiones comprometidas en la propuesta técnica, incorporándolas en la aplicación computacional (modelo en Analytica) que se adjunta en la presente entrega.

A continuación se detallan los cambios y sus respectivas metodologías que se realizaron al método de cálculo del daño marginal elaborado en la guía de referencia y a la respectiva aplicación computacional que lo realiza.

6.1 Doble conteos

Se revisaron los efectos y sus respectivas funciones dosis respuesta considerados en el análisis de todos los contaminantes (PM_{2.5}, O₃, SO₂ y NO₂). La revisión se basó en analizar las causas y edades consideradas en el desarrollo de cada una de las funciones dosis respuesta. Se identificaron doble conteos en admisiones hospitalarias (HA) y en el efecto “Días de Trabajo Perdido” (WLD), ambos para el contaminante PM_{2.5} los cuales se detallan a continuación.

Adicionalmente se determinó un doble conteo al considerar efectos de mortalidad por exposición a PM_{2.5} de corto y largo plazo. Con respecto a esto, el consultor recomienda la utilización única y exclusiva de la función dosis respuesta correspondiente a efectos de mortalidad cardiopulmonar para mayores de 30 años. Esta modificación se encuentra incluida en el modelo computacional, en el presente documento y en la actualización de la guía de referencia.

Admisiones Hospitalarias

Los efectos de admisiones hospitalarias que se han asociado a la exposición a PM_{2.5} y que han sido incluidos en el análisis se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6-1 Revisión efectos considerados con sus respectivos códigos identificar doble conteo

Causa	Códigos Incluidos	Grupo Edad	Fuente
HA_CHF	ICD9 428	65-99	Ito (2003)
HA_DYS	ICD9 429	65-99	Ito (2003)
HA_IHD	ICD9 411-414	65-99	Ito (2003)
HA_CLD	ICD9 490-496	65-99	Ito (2003)
HA_PNEU	ICD9 480-487	65-99	Ito (2003)
HA_CVD	ICD9 390-409, 411-459	18-64	Moolgavkar (2000)
HA_CLD	ICD9 490-492, 494-496	18-64	Moolgavkar (2000)
HA_CVD	ICD9 390-409, 411-459	65-99	Moolgavkar (2000)
HA_ASTH	ICD 493	0-64	Sheppard (2003)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el efecto HA_CLD para el grupo de edad 18-64 no incluye la causa Asma por lo que dichos casos no debieran estar incluidos al momento de calcular la tasa de incidencia para dicho efecto.

En base a los datos del Ministerio de Salud entre los años 2002 y 2006, para el cálculo de la tasa de incidencia del efecto HA_CLD para los grupos de edad Adultos1 y Adultos2 se restaron los efectos correspondientes a la causa ICD9 493 (Asma) para eliminar así el doble conteo. La siguiente tabla muestra como cambiaron las tasas utilizadas para el cálculo del daño marginal (promedio de las tasas de incidencia 2002-2006) para algunas capitales de Chile.

Tabla 6-2 Comparación Tasas CLD con efecto Asma v/s Tasas CLD sin efecto Asma – Grupo de edad Adultos1 [casos/10⁵habitantes]

	Antofagasta		Calama		Santiago	
	Con Asma	Sin Asma	Con Asma	Sin Asma	Con Asma	Sin Asma
FONASA	14.8	4.6	21.1	9.9	36.8	20.7
ISAPRE	24.0	13.8	47.1	15.7	9.0	4.5
PARTICULAR	24.3	6.8	5.4	5.4	20.5	12.3
OTRO	43.7	27.0	6.0	0.0	32.0	19.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-3 Comparación Tasas CLD de Guía de Referencia v/s Actualización – Grupo de edad Adultos2
[casos/10⁵habitantes]

	Antofagasta		Calama		Santiago	
	Con Asma	Sin Asma	Con Asma	Sin Asma	Con Asma	Sin Asma
FONASA	43.3	25.2	68.5	48.9	94.2	68.4
ISAPRE	78.6	43.8	182.6	101.7	41.4	30.1
PARTICULAR	14.8	12.4	19.2	7.6	20.6	20.6
OTRO	73.2	50.2	32.0	24.0	87.7	50.8

.Fuente: Elaboración propia

El efecto HA_CVD incluye dentro de sus códigos a los correspondientes a HA_CHF, HA_DYS y HA_IHD por lo que para el grupo de edad 65+ se está produciendo un doble conteo ya que los efectos CHF, DYS y IHD se están considerando tanto en la cuantificación individual como en la cuantificación de los efectos agrupados en CVD.

En este caso se debe tomar una decisión de qué función dosis respuesta utilizar. La primera opción corresponde a utilizar solo Moolgavkar (2000) o en su defecto utilizar conjuntamente las reportadas por Ito (2003) para los efectos CHF, DYS e IHD. En este caso, el consultor recomienda la utilización de la función dosis respuesta reportada por Moolgavkar (2000) por contener mayor códigos de enfermedades en su análisis (ICD9 390-409, 411-459).

Estas modificaciones se encuentran incluidas en el modelo de cálculo de daños marginales entregado en forma anexa al presente estudio.

Días de Trabajo Perdidos

La tasa de incidencia para los Días de Trabajo Perdido (WLD) que fue utilizada en la guía de referencia incluía, entre otras cosas, todos los días de hospitalizaciones y días de convalecencia de dichas hospitalizaciones. A su vez, al momento de valorizar los efectos que tienen que ver con las admisiones hospitalarias asociadas con un aumento en la concentración de algún contaminante, se considera la tasa de duración de cada efecto agregándole además un periodo de convalecencia. Esta situación implica que en el cálculo del daño marginal realizado en la guía de referencia se estaban valorizando dos veces los efectos de admisiones hospitalarias ya que también estaban siendo incluidos en la cuantificación de los WLD.

En el presente estudio, se han contabilizado los efectos que han sido incluidos en las admisiones hospitalarias para restarlos al momento de calcular la tasa de incidencia base de los WLD. La siguiente tabla muestra esta modificación.

Tabla 6-4 Actualización de Tasa de Incidencia para el efecto "WLD"

		FONASA	ISAPRE	PARTICULAR	OTROS	TOTAL
Valores Utilizados en Guía de Referencia	Total Días de Pérdida de Trabajo	20,332,632	7,183,769	623,208	3,526,033	31,665,643
	Población Afectada	13,460,061	2,167,418	586,455	368,901	16,582,835
	Tasa (días/persona)	1.5	3.3	1.1	9.6	1.9
	Tasa (días hábiles/persona)					1.4
Valores Actualizados	Días ya contabilizados en efectos de HA incluidos en el modelo	1,421,832	120,354	37,414	117,431	1,421,832
	Total descontando lo ya contabilizado	18,910,800	7,063,415	585,794	3,408,602	29,968,610
	Tasa (días/persona)	1.4	3.3	1.0	9.2	1.8
	Tasa (días hábiles/persona)					1.3

Fuente: Elaboración propia

6.2 Tasas de Incidencia por Grupo de Edad

Se revisaron los documentos científicos originales de las funciones dosis respuesta utilizadas en el cálculo del daño marginal. A partir de esta revisión no se encontraron inconsistencias entre los grupos de edad de estas funciones y los utilizados en la guía de referencia exceptuando el efecto de Mortalidad a Largo Plazo por causas Cardiopulmonares.

En la guía de referencia se utilizó el grupo de edad correspondiente a Adultos (18-64) y Adultos Mayores (65+) siendo que el documento original que establece la función dosis respuesta para este efecto establece que esta fue calculada para el grupo de edad de adultos mayores a 30 años.

Se calcularon las tasas de incidencia y la población correspondientes al grupo de edad en cuestión y luego se realizó la correspondiente actualización a la aplicación computacional que calcula el daño marginal.

Para el cálculo de la tasa de incidencia se consideraron todos aquellos casos de muerte de la población mayor a 30 años que fueran por causas respiratorias o cardiovasculares (estas conforman las causas cardiopulmonares) filtrando por lo códigos de causas específicas estipulados en la base de datos de mortalidad disponible por el consultor para los años 2003-2007 (INE). Los códigos utilizados para esta selección se detallan en la siguiente tabla (se consideraron para RSP y CVD).

Tabla 6-5 Códigos de causas específicas para selección de casos de Mortalidad Cardiopulmonar

Código	Causa	ICD9	ICD-10
RSP	Respiratoria	460.0-519.X	J000–J953 y J980-J998, R065
CVD	Cardiovascular	390.0-459.X	G450-G452, G454, G458-G468 G936, G938, G951, I000-1879, I890-1891, I898-1978, I980-1990, R001, R008,R012
CAN	Cáncer	140.1-239.X	C000-C944, C947-D450, D470-D471 and D473-D489
OTH	Otra	<800	> A000 y < S000 no presentes en otros grupos
EXT	Externa	>=800	>= S000

Fuente: Elaboración propia

La población mayor a 30 años para el cálculo de la tasa de incidencia y posterior cálculo del daño marginal fue obtenida a partir de los datos del INE.

Esta modificación generó que se modificara la estructura del modelo de cálculo de daño marginal dividiendo aquel grupo de edad “Adultos” en dos; Adultos 1 (18-29) y Adultos2 (30-64) por lo que las tasas de incidencia para este efecto fueron calculadas para los grupos de edad “Adultos2” y “Adultos Mayores”.

La siguiente tabla muestra el cambio en las tasas de incidencia para el grupo de edad “Adultos” (Antigua) versus “Adultos2” (Actualización). Para el grupo de edad Adultos Mayores no existen cambios.

Tabla 6-6 Comparación Tasas Mortalidad CPM de Guía de Referencia v/s Actualización [casos/10⁵habitantes]

Tasa (casos/10 ⁵ habs)	Antofagasta		Santiago	
	Antigua – “Adultos”	Actualizada – “Adultos2”	Antigua – “Adultos”	Actualizada – “Adultos2”
	66.5	95.68	72.5	96.73

Fuente: Elaboración propia

6.3 Asignación Efectos a Tipo de Previsión

En la guía de referencia todos los efectos asociados a admisiones hospitalarios se encontraban asignados a un tipo de previsión por lo que en el presente estudio los efectos que debían trabajarse correspondían a Mortalidad, Días de Trabajo Perdido (WLD), Días con restringida (RAD) y Días con Actividad Restringida Menor (MRAD).

Mortalidad

Para el caso de los efectos de Mortalidad, se asignaron los efectos a un tipo de previsión asociando una tasa de incidencia idéntica para todos los tipos (FONASA, Isapre, Particulares,

Otro)⁵⁷ lo que permite que la aplicación computacional que calcula el daño marginal entregue los resultados finales para Mortalidad según previsión utilizando para su cálculo, la población comunal perteneciente a cada tipo de previsión. Esta modificación implica que en los resultados finales de daño marginal entregados por la aplicación computacional desaparezca el resultado “TODOS” referido al índice Previsión.

RAD y MRAD

Lamentablemente no existe información para realizar una asignación metodológica para estos efectos por lo que se asume que todos los individuos poseen la misma posibilidad de verse afectados, independiente de la previsión a la cual pertenezcan. Este supuesto implica que, para realizar la asignación según tipo de previsión, se mantiene la tasa de incidencia base utilizada en la guía de referencia para cada uno de los sistemas de previsión tal cual se ha hecho para los efectos de mortalidad.

WLD

Para este efecto si existe información útil para asignar los efectos (aumento de casos) a un tipo de previsión específico. Esto debido a que es posible calcular una tasa de incidencia base específica según sistema de previsión al que pertenece el afiliado.

En base a la información disponible se calculó una tasa de incidencia según tipo de previsión que luego fue ingresada a la aplicación computacional que calcula el daño marginal. El método de cálculo y la tasa de incidencia utilizada se muestran en la siguiente tabla.

⁵⁷ Las tasas de incidencia de Mortalidad no son posibles de estimar según previsión ya que los datos de defunciones no cuentan con información de los afectados según esta clasificación. Esto implica que la única forma de asignar según previsión los efectos de Mortalidad Prematura es asumir que la tasa de incidencia es idéntica para cada uno de los tipos de previsión estudiados.

Tabla 6-7 Calculo de Tasas de Incidencia para WLD según Tipo de Previsión

Tipo Día de Perdida de Trabajo	FONASA	ISAPRE	PARTICULAR	OTROS	TOTAL	Fuente
Hospitalización	5,611,160	641,265	84,069	475,652	6,812,146	Base de Datos Egresos y días de estadía MiNSALUD 2008
Convalecencia	2,805,580	320,633	42,035	237,826	3,406,073	Estimación a partir de la duración de la hospitalización
Otras Causas	11,915,893	6,221,871	497,105	2,812,555	21,447,424	Para FONASA e ISAPRE diferencia, para el resto a partir de datos FONASA e ISAPRE.
TOTAL	20,332,632	7,183,769	623,208	3,526,033	31,665,643	
Total descontando lo ya contabilizado en HA	18,910,800	7,063,415	585,794	3,408,602	29,968,610	
Población Afectada	13,460,061	2,167,418	586,455	368,901	16,582,835	CASEN 2009
Tasa (días/persona)	1.4	3.3	1.0	9.2	1.8	
Tasa (días hábiles/personas)	1.0	2.3	0.7	6.6	1.3	
Tasa (días/10[^]personas)	100,354	232,779	71,348	659,992	129,086	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Todas estas modificaciones permiten que en los resultados del modelo que calcula el daño marginal haya desaparecido el resultado “TODOS” referido al índice Previsión.

6.4 Asignación Efectos a Grupo de Edad

El único efecto, de todos los analizados y recomendados en la guía de referencia, que no poseía una asignación a un grupo de edad específico correspondía a la Mortalidad de Corto Plazo.

Para dicho efecto, se calcularon las tasas de incidencia base para los grupos de edad Niños (0-17), Adultos1 (18-29), Adultos2 (30-64) y Adultos Mayores (65+) a partir de los datos de defunciones de INE, manteniendo idénticas las funciones dosis respuesta para cada grupo de edad. Estas se ingresaron a la aplicación computacional que calcula el daño marginal lo que permitió que los resultados que arroja este no contenga el resultado “TODOS” referido al índice Grupo de Edad.

Finalmente, se ha descartado el uso de la función dosis respuesta correspondiente a Mortalidad de corto plazo, por lo que este cambio no se ve reflejado en el modelo de cálculo de daño marginal desarrollado. De todas maneras, la información se encuentra ingresada en el modelo, por lo que la contraparte puede, en caso de que lo desee, obtener información de este efecto y su respectiva cuantificación y valorización.

7. Capacitación a Funcionarios del Ministerio de Medio Ambiente

Los días 23, 24 y 25 de Noviembre se realizó la capacitación a funcionarios del Ministerio de Medio Ambiente e invitados de MIDEPLAN correspondiente a los contenidos abordados en la Guía Metodológica para la elaboración de AGIES para Instrumentos de Gestión de la Calidad del Aire y los valores recomendados en esta.

La capacitación fue realizada en Learning Center, mientras que los asistentes de regiones alojaron en el Hotel Neruda, ambas dependencias ubicadas en la comuna de Providencia. La capacitación fue dictada por Luis Abdón Cifuentes, Camila Cabrera y Andrés Pica.

A continuación se listan los participantes de esta capacitación y la institución o división a la que pertenecen.

Nombre Asistentes	Institución
Daniela Castillo	SEREMI MMA I Región
Jenny Tapia	SEREMI MMA II Región
Ana Soto	SEREMI MMA II Región
Álvaro Parra	SEREMI MMA III Región
Siomara Gómez Aguilera	SEREMI MMA V Región
Cindy Figueroa	SEREMI MMA VII Región
Nomar Fernandez	SEREMI MMA VIII Región
Rocío Toro	SEREMI MMA IX Región
Ignacio Carrasco	SEREMI MMA XI Región
Gabriel Silva	MMA RM
Jean Pinaud	SEREMI MMA XIV Región
Juan Felipe Avendaño	SEREMI MMA XV Región
Isabel Rojas	DEA
Carmen Gloria Contreras	DAA PYR
Priscila Ulloa	DAA PYR
Rodrigo Mauro	DAA PYR
María Jesús Llambias	DAA PYR
Javier Auszenker	MIDEPLAN
Pamela Frenk	MIDEPLAN

7.1.1 Contenidos abordados

La capacitación se dividió en 10 módulos de aproximadamente 1,75 horas de duración. A continuación se presenta los contenidos de cada uno de los módulos que fueron desarrollados. En el Anexo 0 se detalla el cronograma de actividades seguido durante esta capacitación.

Modulo	Contenido	Descripción
1	Introducción	Contenido del Curso, Antecedentes Regulación Ambiental, Regulación Ambiental en Chile, Criterios para la Toma de Decisiones.
2	Teoría Análisis Costo Beneficio (ACB)	Introducción al ACB, Fortalezas y Debilidades, Buenas Prácticas, Descripción General Metodología para elaborar AGIES utilizando un ACB.
3	Alcance del AGIES Emisiones Línea Base	Definición del Alcance de un AGIES, Métodos de Estimación de Emisiones del escenario Línea Base.
4	Reducción de Emisiones	Clasificación Medidas de Reducción, Impacto de las Medidas.
5	Estimación de Costos Concentraciones Ambientales de Contaminantes	Costo Privado v/s Costo Social, Tipos de Costos, Distribución de Costos. Modelos Atmosféricos, Recomendación de que modelo utilizar.
6	Estimación de Beneficios	Identificación, Cuantificación y Valorización de Beneficios Ambientales.
7	Cálculo del Daño Marginal de Beneficios en Salud	Valores Recomendados, Calculo del daño marginal en base a ejercicio práctico.
8	Análisis Económico	Indicadores Económicos, Flujos a distintas tasas, Análisis de Sensibilidad e Incertidumbre.
9	Caso Práctico: PPDA RM	Contextualización de la regulación y caso práctico guiado por el relator.
10 (doble duración) ⁵⁸	Caso Práctico: Norma Calefactores a Leña	Contextualización de la regulación y trabajo individual del caso práctico.

Cada uno de los módulos (3 al 8) fue acompañado de un análisis comparativo de la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social de la Norma de Termoeléctricas

⁵⁸ Este modulo se realizó parcialmente debido a dificultades por parte del consultor. Independiente de esto, se les entrego a los participantes todos los documentos y ejercicios que contemplaba la organización original de este modulo.

desarrollado por dos estudios distintos los cuales utilizaron diferentes métodos y supuestos para la cuantificación de costos y beneficios.

Los contenidos específicos que se desarrollaron durante la capacitación se encuentran en el archivo digital adjunto. Este contiene las presentaciones realizadas junto con los casos prácticos en formato Excel.

7.1.2 Reporte Capacitación según Encuesta realizada

De acuerdo a la encuesta realizada, los participantes evaluaron de buena⁵⁹ manera la actividad de capacitación en general. Los temas mejor evaluados fueron los siguientes:

- Conocimiento y dominio de las materias expuestas por Luis Cifuentes
- Los materiales de capacitación entregados
- Atención prestada por el equipo de trabajo a los asistentes
- Organización de la actividad de capacitación
- Servicio de Banquetería

Por otra parte, los asistentes manifestaron interés en obtener capacitación en otras áreas que podrían ayudar en su desempeño laboral. A continuación se resumen las áreas mencionadas:

- Economía Ambiental
- Evaluación de proyectos
- Instrumentos económicos aplicados a descontaminación
- Inventarios y modelación calidad del aire
- Metodologías complementarias para planes y normas
- Manejo de softwares

A pesar de que los asistentes evaluaron de buena manera la capacitación en general (considerando el promedio de todas las secciones evaluadas), la mayoría no quedó conforme con la actividad de capacitación al preguntarles esto directamente. Los puntos débiles evaluados por los asistentes fueron el cumplimiento de objetivos de la actividad de capacitación, el nivel de profundidad de las materias tratadas, la utilidad de los ejercicios prácticos y la claridad y metodologías empleadas por alguno de los expositores; proponiendo un mayor orden en las presentaciones y una mayor preparación de los ejercicios prácticos (ejemplos). A pesar de ser los puntos más débiles, estos fueron evaluados con un nivel satisfactorio.

⁵⁹ **Escala Utilizada:** [7 – 6] → Excelente / [5.9 – 5] → Muy Bueno / [4.9 – 4] → Satisfactorio / [3.9 – 3] → Insatisfactorio / [2.9 – 2] → Malo / [1.9 – 1] → Muy Malo

Adicionalmente los asistentes recomendaron considerar en futuras capacitaciones los conocimientos base de los asistentes para enfocar de mejor manera los contenidos y aprovechar mejor el tiempo, así como generar ejercicios prácticos más dinámicos.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de las encuestas entregadas.

	Promedio General
I.- Evaluación Docente	
Sobre el Relator(a) o Facilitador(a) Luis Cifuentes	
Conocimiento y dominio de las materias expuestas	6.0
Motivación a los asistentes	4.8
Claridad y precisión en la exposición	5.1
Metodologías empleadas	4.8
Promedio	5.2
Sobre el Relator(a) o Facilitador(a) Camila Cabrera	
Conocimiento y dominio de las materias expuestas	4.9
Motivación a los asistentes	4.9
Claridad y precisión en la exposición	4.7
Metodologías empleadas	4.6
Promedio	4.8
Sobre el Relator(a) o Facilitador(a) Andrés Pica	
Conocimiento y dominio de las materias expuestas	4.7
Motivación a los asistentes	4.9
Claridad y precisión en la exposición	4.1
Metodologías empleadas	4.3
Promedio	4.5
Promedio Sección I	
	4.8
II.- Evaluación Contenidos Capacitación	
Contenidos y objetivos de las clases	5.0
Nivel de profundidad de las materias tratadas	4.5
Utilidad de los Ejercicios Prácticos	4.5
Promedio	4.6
Promedio Sección II	
	4.6

III.- Nivel de Satisfacción

Cumplimiento de objetivos de la actividad de capacitación	4.7
Organización de la actividad de capacitación	5.8
Infraestructura utilizada	5.6
Materiales entregados	5.9
Servicio de Banquetería	5.8
Atención prestada por el personal	5.9
Promedio	5.6

Promedio Sección III 5.6

Promedio Actividad de Capacitación 5.0

En el archivo digital adjunto se puede encontrar el detalle y análisis de cada una de las encuestas que fueron entregadas.

Esperamos que los temas expuestos en las jornadas de capacitación hayan entregado conceptos y herramientas para enfrentar de mejor manera los análisis de AGIES.

8. Anexos

I. Recopilación Funciones Dosis Respuesta

I.1 Material Particulado Fino (PM_{2.5})

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Ano	% Inc 10 ug/m3 PM _{2.5}	%low	%high	Select?	Razon
Mortalidad Prematura	MLP	All	Annual	25-99	Laden et al.	2006	16.0%	6.9%	25.9%	No	Se selecciona MLP - CPM debido a que son esas causas y esas edades las que se ven afectadas ademas de elegir la opcion mas conservadora
	MLP	All	Annual	30-99	Pope et al.	2002	6.0%	1.6%	10.6%	No	Se selecciona MLP - CPM debido a que son esas causas y esas edades las que se ven afectadas
	MLP	CPM	Annual	30-99	Pope et al.	2004	9.7%	3.7%	16.2%	SI	Cumple condiciones
	MLP	All	Annual	30-99	Krewski et al.	2009	6.0%	-12.2%	28.0%	No	Se selecciona MLP - CPM debido a que son esas causas y esas edades las que se ven afectadas
	MLP	Lung Cancer	Annual	30-99	Krewski et al.	2009	14.0%	5.8%	22.8%	No	Se selecciona la funcion que contiene CPM
	MLP	IHD	Annual	30-99	Krewski et al.	2009	24.0%	17.2%	31.1%	No	Se selecciona la funcion que contiene CPM que incluye el efecto IHD
	MLP	All	Annual	0-1	Woodruff et al.	1997	4.0%	1.5%	6.5%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MLP	All	Annual	0-1	Woodruff et al.	2006	7.0%	-7.3%	23.6%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MST	All	D24Hour Mean	All	Cifuentes et al.	2000	1.2%	0.6%	1.8%	SI	Cumple condiciones
Acciones Medicas	HA	CHF	D24Hour Mean	65-99	Ito	2003	3.1%	0.5%	5.8%	No	Se utiliza la correspondiente a CVD que contiene esta causa
	HA	DYS	D24Hour Mean	65-99	Ito	2003	1.3%	-2.7%	5.4%	No	Se utiliza la correspondiente a CVD que contiene esta causa
	HA	IHD	D24Hour	65-99	Ito	2003	1.4%	-0.8%	3.8%	No	Se utiliza la correspondiente a CVD que

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Ano	% Inc 10 ug/m3 PM _{2.5}	%low	%high	Select?	Razon
			Mean								contiene esta causa
	HA	CLD	D24Hour Mean	65-99	Ito	2003	1.2%	-2.8%	5.4%	SI	Cumple condiciones
	HA	PNEU	D24Hour Mean	65-99	Ito	2003	4.1%	0.7%	7.5%	SI	Cumple condiciones
	HA	CVD	D24Hour Mean	18-64	Moolgavkar	2000	1.5%	0.8%	2.3%	SI	Cumple condiciones
	HA	CLD	D24Hour Mean	18-64	Moolgavkar	2000	2.4%	0.8%	4.0%	SI	Cumple condiciones
	HA	CVD	D24Hour Mean	65-99	Moolgavkar	2003	1.6%	0.9%	2.3%	SI	Cumple condiciones
	HA	CLD	D24Hour Mean	65-99	Moolgavkar	2003	1.9%	0.8%	2.9%	No	Se prefiere Ito (2003) por ser mas conservadora
	HA	ASTH	D24Hour Mean	0-64	Sheppard	2003	3.4%	1.3%	5.5%	SI	Cumple condiciones
	ERV	ASTH	D24Hour Mean	0-17	Norris et al.	1999	18.0%	8.8%	27.9%	SI	Cumple condiciones
	MV	BRO	Annual	8-12	Dockery et al.	1996	31.3%	-6.1%	83.5%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	LRS	D24Hour Mean	7-14	Schwartz and Neas	2000	20.9%	7.5%	36.0%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	Cough	D24Hour Mean	6-18	Ostro et al.	2001	1.0%	-0.5%	2.5%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	Shortness of Breath	D24Hour Mean	6-18	Ostro et al.	2001	2.6%	-0.1%	5.3%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	Wheeze	D24Hour Mean	6-18	Ostro et al.	2001	2.0%	0.4%	3.6%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	URS	D24Hour Mean	9-11	Pope et al.	1991	3.7%	0.7%	6.8%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal
	MV	Cough	D24Hour Mean	6-18	Vedal et al.	1998	8.3%	0.0%	17.4%	No	Se prefieren funciones de la forma Log-Lineal

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Ano	% Inc 10 ug/m3 PM _{2.5}	%low	%high	Select?	Razon
Restricción de Actividad	WLD		D24Hour Mean	18-64	Ostro	1987	4.7%	4.0%	5.4%	SI	Cumple condiciones
	RAD		D24Hour Mean	18-64	Ostro	1987	4.9%	4.3%	5.5%	SI	Cumple condiciones
	MRAD		D24Hour Mean	18-64	Ostro and Rothschild	1989	7.7%	6.2%	9.2%	SI	Cumple condiciones

I.2 Dióxido de Azufre (SO₂)

A continuación se presenta la recopilación de funciones dosis respuesta de SO₂ a partir del documento BENMAP (EPA 2010a). Adicionalmente se puede revisar en la planilla adjunta al informe la cual presenta aun mayor información sobre cada una de las funciones D-R presentadas.

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb SO ₂	%low	%high	Select?	Razón
Acciones Medicas	HA	RSP	D24HrMean	65-99	Fung et al.	2006	18.8%	7.5%	31.2%	No	Se prefiere Schwartz et al. (2003) por tener un valor mas conservador
	HA	RSP	D1HrMax	All	Luginaa h et al.	2005	2.4%	-0.9%	5.8%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	All	Luginaa h et al.	2005	-0.7%	-4.0%	2.7%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	0-14	Luginaa h et al.	2005	5.6%	0.6%	10.9%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	0-14	Luginaa h et al.	2005	-0.3%	-5.1%	4.9%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	15-64	Luginaa h et al.	2005	3.5%	-2.7%	10.0%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb SO ₂	%low	%high	Select?	Razón
	HA	RSP	D1HrMax	15-64	Luginaa h et al.	2005	2.4%	-5.4%	10.8%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	65-99	Luginaa h et al.	2005	3.8%	-2.7%	10.7%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	65-99	Luginaa h et al.	2005	-2.3%	-9.0%	4.9%	No	Se seleccionan con metrica D24HourMean
	HA	RSP	D24HrMean	65-99	Schwartz et al.	2003	0.8%	-0.1%	1.7%	SI	Cumple condiciones
	HA	ASTH	D24HrMean	0-64	Sheppard, L.	2003	2.1%	-3.0%	7.4%	No	Inclusion adultos (evidencia debil)
	HA	RSP	D24HrMean	65-99	Yang et al.	2003	2.9%	-4.2%	10.5%	No	Modelo logistic
	HA	CLD	D24HrMean	65-99	Yang et al.	2005	27.3%	0.8%	60.9%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Ito et al.	2007	35.9%	22.2%	51.2%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Ito et al.	2007	4.5%	1.0%	8.0%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D1HrMax	5-34	Jaffe et al.	2003	6.4%	0.5%	12.7%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Michaud et al.	2004	3.0%	-1.7%	7.9%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	ERV	ASTH	D24HrMean	0-4	NYDOH	2006	11.8%	1.1%	23.6%	No	Cumple condiciones pero se prefiere Wilson et al. (Portland) por incluir a mayor población con evidencia fuerte
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	7.2%	-0.1%	15.2%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	12.7%	5.3%	20.5%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	10.0%	3.8%	16.4%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	10.0%	4.2%	16.0%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	10.0%	4.7%	15.5%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	35-64	NYDOH	2006	16.2%	6.4%	27.0%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb SO ₂	%low	%high	Select?	Razón
	ERV	ASTH	D1HrMax	All	Peel et al.	2005	0.7%	-1.3%	2.8%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	2-99	Villeneuve et al.	2007	-6.5%	-11.2%	-1.6%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	2-4	Villeneuve et al.	2007	0.0%	-15.4%	18.2%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	5-14	Villeneuve et al.	2007	-6.5%	-18.4%	7.1%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	15-44	Villeneuve et al.	2007	-6.5%	-14.1%	1.7%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	45-64	Villeneuve et al.	2007	-3.3%	-16.8%	12.5%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	65-74	Villeneuve et al.	2007	3.4%	-19.2%	32.3%	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	75-99	Villeneuve et al.	2007	21.4%	-28.8%	107.2 %	No	Modelo logistic
	ERV	ASTH	D24HrMean	0-14	Wilson et al.	2007	5.1%	-11.9%	25.4%	SI	Cumple condiciones
	ERV	ASTH	D24HrMean	0-14	Wilson et al.	2007	19.7%	-3.5%	48.5%	No	Cumple condiciones pero se prefiere Wilson et al. (Portland) por tener un valor mas conservador.
	ERV	ASTH	D24HrMean	15-64	Wilson et al.	2007	11.6%	1.2%	23.1%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	15-64	Wilson et al.	2007	3.0%	-8.4%	15.9%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D24HrMean	65-99	Wilson et al.	2007	11.6%	-15.2%	46.9%	SI	Cumple condiciones
	ERV	ASTH	D24HrMean	65-99	Wilson et al.	2007	11.6%	-28.9%	75.2%	No	Se prefiere Wilson et al. (Portland) por tener una menor dispersión.
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Wilson et al.	2007	10.5%	-7.4%	31.8%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb SO ₂	%low	%high	Select?	Razón
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Wilson et al.	2007	6.2%	-14.4%	31.7%	No	Inclusión adultos (evidencia débil)
Restricción de Actividad	AE	One or More Symptoms	D8HrMax	10-15	Delfino et al.	2003	242.1 %	36.5%	757.6 %	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	One or More Symptoms	D3HrMax	4-12	Mortimer et al.	2002	9.1%	1.8%	16.9%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	Missed School Days	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	10.4%	-18.2%	48.9%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	One or More Symptoms	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	4.8%	-10.9%	23.2%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	Nighttime asthma	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	11.1%	-8.7%	35.3%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	Slow Play	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	5.6%	-12.4%	27.3%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	AE	One or More Symptoms	D24HrMean	4-12	Schildcrout et al.	2006	4.0%	0.1%	8.1%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad
	MRAD	Cough	D24HrMean	7-14	Schwartz et al.	1994	9.0%	-5.8%	26.1%	No	No existe suficiente evidencia para establecer causalidad

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Nota:

HA: Admisiones Hospitalarias

ERV: Visitas a Salas de Emergencia

EA: Exacerbación del Asma

Fuente: Elaboración Propia en base a BENMAP (EPA 2010a)

I.3 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

A continuación se presenta la recopilación de funciones dosis respuesta de NO₂ a partir del documento BENMAP (EPA 2010a). Adicionalmente se puede revisar en la planilla adjunta al informe la cual presenta aun mayor información sobre cada una de las funciones D-R presentadas.

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb NO ₂	%low	%high	Select?	Razón
Acciones Médicas	HA	RSP	D24HrMean	65-99	Fung et al.	2006	3.3%	-0.1%	6.9%	SI	Cumple las condiciones y se prefiere a Yang et al. 2003 por tener la forma log-lineal v/s logistic
	HA	ASTH	D24HrMean	0-29	Linn et al.	2000	2.4%	0.8%	4.0%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
	HA	ASTH	D24HrMean	30-99	Linn et al.	2000	1.4%	0.4%	2.4%	No	Doble conteo al seleccionar RSP + inclusión adultos (evidencia débil)
	HA	RSP	D1HrMax	0-14	Luginaah et al.	2005	7.0%	-0.4%	14.9%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	0-14	Luginaah et al.	2005	-2.8%	-8.6%	3.3%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	15-64	Luginaah et al.	2005	7.4%	-1.4%	17.0%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean + inclusión adultos (evidencia débil)
	HA	RSP	D1HrMax	15-64	Luginaah et al.	2005	0.7%	-10.2%	13.1%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean + inclusión adultos (evidencia débil)
	HA	RSP	D1HrMax	65-99	Luginaah et al.	2005	1.2%	-4.5%	7.3%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	HA	RSP	D1HrMax	65-99	Luginaah et al.	2005	-1.4%	-9.4%	7.2%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	HA	CLD	D24HrMean	65-99	Moolgavkar S. H.	2003	1.8%	1.4%	2.2%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
	HA	CLD	D24HrMean	65-99	Moolgavkar S.	2003	2.4%	0.8%	4.1%	No	Doble conteo al seleccionar RSP

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb NO ₂	%low	%high	Select?	Razón
					H.						
	HA	RSP	D24HrMean	65-99	Yang et al.	2003	9.2%	2.8%	15.9%	No	Modelo logistic
	HA	CLD	D24HrMean	65-99	Yang et al.	2005	22.9%	7.9%	40.0%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	Ito et al.	2007	5.6%	3.7%	7.6%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
	ERV	ASTH	D1HrMax	5-34	Jaffe et al.	2003	3.0%	-1.0%	7.3%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean + exclusivo asmáticos
	ERV	ASTH	D24HrMean	All	NYDOH	2006	2.3%	0.0%	4.7%	No	Doble conteo al seleccionar RSP + inclusión adultos (evidencia débil)
	ERV	ASTH	D1HrMax	All	Peel et al.	2005	2.3%	0.5%	4.1%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean + inclusión adultos (evidencia débil) + Doble conteo al seleccionar RSP
	ERV	ASTH	D24HrMean	75-99	Villeneuve et al.	2007	14.5%	3.1%	27.1%	No	Doble conteo al seleccionar RSP
Restricción Actividad	AE	One or More Symptoms	D8HourMax	9-18	Delfino et al.	2002	22.1%	-2.5%	52.8%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	One or More Symptoms	D8HourMax	10-16	Delfino et al.	2003	1006.0%	15.5%	10488.9%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	One or More Symptoms	D4HourMax	4-12	Mortimer et al.	2002	14.5%	-8.1%	42.5%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	One or More Symptoms	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	11.1%	0.8%	22.5%	SI	La evidencia existe, pero no de podrá cuantificar por no tener la tasa de incidencia.
	AE	Nighttime Asthma	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	13.3%	-0.2%	28.7%	SI	La evidencia existe, pero no de podrá cuantificar por no tener la tasa de incidencia.
	AE	Slow play	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	15.0%	3.0%	28.4%	SI	La evidencia existe, pero no de podrá cuantificar por no tener la tasa de incidencia.
	AE	Missed school days	D24HrMean	4-12	O'Connor et al.	2008	15.0%	-6.5%	41.4%	SI	La evidencia existe, pero no de podrá cuantificar por no tener la tasa de incidencia.
	AE	Cough	D1HrMax	4-12	Ostro et al.	2001	0.6%	-0.6%	1.8%	SI	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	Cough (New	D1HrMax	4-12	Ostro et	2001	2.3%	0.1%	4.5%	SI	Se seleccionan con métrica D24HourMean

Tipo de Efecto	Efecto	Causa	Métrica	Edad	Fuente	Año	% Inc 10 ppb NO ₂	%low	%high	Select?	Razón
		Cases)			al.						
	AE	Shortness of Breath	D1HrMax	4-12	Ostro et al.	2001	1.6%	-0.2%	3.4%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	Shortness of Breath (New Cases)	D1HrMax	4-12	Ostro et al.	2001	2.7%	-0.2%	5.6%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	Wheeze	D1HrMax	4-12	Ostro et al.	2001	1.6%	0.3%	2.8%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	Wheeze (New Cases)	D1HrMax	4-12	Ostro et al.	2001	2.5%	0.7%	4.3%	No	Se seleccionan con métrica D24HourMean
	AE	One or More Symptoms	D24HrMean	4-12	Schildcrout et al.	2006	4.4%	1.6%	7.3%	No	Cumple las condiciones pero se prefiere O'Connor et al. 2008 por incluir co-contaminantes.
	MRAD	Cough	D24HrMean	7-14	Schwartz et al.	1994	17.0%	-6.1%	45.8%	SI	La evidencia existe, pero no se podrá cuantificar por no tener la tasa de incidencia.

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} = \frac{\ln(\%Inc + 1)}{\Delta C}$$

Nota:

HA: Admisiones Hospitalarias

ERV: Visitas a Salas de Emergencia

EA: Exacerbación del Asma

Fuente: Elaboración Propia en base a BENMAP (EPA 2010a)

II. Clasificación Comunal según Nivel Socioeconómico

Figura 8-1 Clasificación Comunas de Provincia de Santiago según Nivel Socioeconómico de estas – Clasificación Tipo A

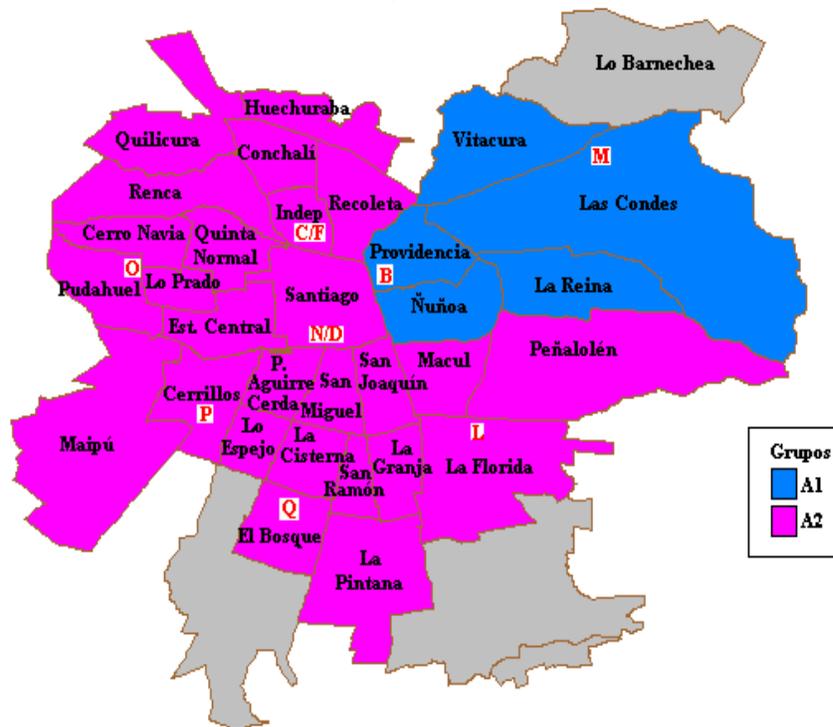


Figura 8-2 Clasificación Comunas de Provincia de Santiago según Nivel Socioeconómico de estas – Clasificación Tipo B



III. Detalle del Programa de la Capacitación realizada

Capacitación: "Guía Metodológica para la Elaboración de AGIES para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire"

Día 1

Hora	Actividad	Contenido	Ejecutor
8.30 – 8.45	Registro de Participantes	Registro y entrega de documentos que se utilizarán durante la capacitación.	
8.45 – 9.00	Introducción	Bienvenida y Presentación de contenidos	Luis Abdón Cifuentes
9.00 – 10.30	Módulo 1	-Antecedentes y Regulación Actual -Criterios para la Toma de Decisiones	Luis Abdón Cifuentes
10.30 – 10.45	Coffee Break		
10.45 – 12.15	Módulo 2	-Introducción al ACB -Buenas Prácticas ACB -Descripción General de la Metodología para elaborar un AGIES con ACB	Luis Abdón Cifuentes
12.15 – 13.15	Almuerzo		
13.15 – 14.45	Módulo 3	-Definición de Alcance (Teoría/Caso Práctico) - Estimación de Emisiones LB (Teoría/Caso Práctico)	Camila Cabrera
14.45 – 15.00	Coffee Break		
15.00 – 16.30	Módulo 4	- Estimación de Reducción de Emisiones (Teoría/Caso Práctico)	Camila Cabrera

Día 2

Hora	Actividad	Contenido	Ejecutor
9.00 – 11.00	Módulo 1	- Estimación de Costos (Teoría/Caso Práctico) - Cambio en Concentraciones (Teoría/Caso Práctico)	Luis Abdón Cifuentes
11.00 – 11.15	Coffee Break		
11.15 – 13.00	Módulo 2	Estimación de Beneficios (Teoría)	Luis Abdón Cifuentes
13.00 – 14.00	Almuerzo		
14.00 – 16.00	Módulo 3	Estimación de Beneficios (Caso Salud)	Camila Cabrera
16.00 – 16.30	Coffee Break		
16.30 – 18.00	Módulo 4	Análisis Económico (Teoría/Caso Práctico)	Camila Cabrera

Día 3

Hora	Actividad	Contenido	Ejecutor
------	-----------	-----------	----------

9.00 – 11.00	Módulo 1	Análisis de Caso (Guiado por el Instructor)	Luis Abdón Cifuentes
11.00 – 11.15	Coffee Break		
11.15 – 13.00	Módulo 2	Análisis de Caso (Trabajo Individual)	Luis Abdón Cifuentes
13.00 – 14.00	Almuerzo		
14.00 – 16.00	Módulo 3	Análisis de Caso (Trabajo Individual)	Andrés Pica
16.00 – 16.30	Coffee Break		
16.30 – 18.00	Cierre	-Revisión y Comparación Análisis de Caso (Trabajo Individual) -Comentarios Finales	Andrés Pica

IV. Presentación Realizada para abordar el Objetivo Específico 1

Diapositiva 1



GreenLab UC

Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A



PRESENTACIÓN

“Valor de la Vida Estadística desagregado según tipo de Costo”

Estudio: “Nuevos Elementos para la Inclusión de la Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES”

8-Nov-2011
Santiago, Chile.

Diapositiva 2

Contenidos que se abordarán en el desarrollo del Estudio

2

1. Marco conceptual de la perdida social que implica un evento de mortalidad prematura.
2. Revisión de Artículos sobre estimaciones de Valor de la Vida Estadística y cálculo de Capital Humano
3. Análisis Comparativo de Metodologías
4. Cálculo de Capital Humano para Chile
5. Desagregación del Valor de la Vida Estadística según tipo de costo

www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 3

Marco Conceptual de Perdida Social de un evento de Mortalidad Prematura

3

Resultados a obtener: elementos que componen la **perdida social que implica un evento de mortalidad prematura**

- Según Método utilizado:
 - Capital Humano
 - Disposición a pagar
- Según Enfoque:
 - Ex-ante / Ex-post
- Según componentes de valor declarado:
 - Prima por riesgo
 - Disutilidad
 - Costos Médicos
 - Capital humano

www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 4

Revisión de Artículos de Estimación de VVE y Capital Humano + Análisis Comparativo

4

- Objetivo: Rescatar, para cada uno de los artículos revisados, sus principales características y métodos de estimación.
- En base a dicha revisión, comparar:
 - Valores bajo los diferentes métodos
 - Condiciones de riesgo
 - Tipo de Evento
- Se identificarán las metodologías más robustas realizando un análisis de Fortalezas y Debilidades

Análisis de los efectos que producen estos parámetros en el valor final estimado.

www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 5

Cálculo de Capital Humano (CH)

5

$$CH = \sum_{n=0}^N \frac{Ing_n p_n e_n}{(1+r)^n}$$

Ing_n : Ingreso salarial personal para el año n

p_n : Probabilidad de estar vivo en el período n

e_n : Probabilidad de estar empleado en el período n

r : Tasa de descuento social

- Adicionalmente...
 - Se calculará por grupo de edad cada 5 años
 - Se calculará un CH según género

Se utilizará metodología idéntica a la utilizada en MIDEPLAN (2011) por lo que los resultados no debieran variar.

MIDEPLAN (2011). Estimación del "Valor de la Vida" a través del enfoque de Capital Humano.

www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 6

Desagregación VVE –
Contextualización del concepto del VVE

6

- Método Dinámico
 - Permite analizar la evolución en el tiempo de la DAP por reducir riesgos de muerte a lo largo del ciclo de vida de la persona.
 - Permiten analizar la evolución del VVE, del valor del capital humano y del stock de ahorros de las personas.
 - Poseen mayor complejidad matemática.
 - Útiles para conceptualizar ciertos fenómenos que afectan al VVE, pero para aplicaciones prácticas se prefieren los modelos estáticos.
- Método Estático
 - Permiten incorporar variados elementos de análisis
 - Necesidad de dejar herencia
 - Restricciones al comportamiento (Ej. Gastos ya comprometidos)
 - Tipos de riesgos a la salud
 - Probabilidades subjetivas
 - Aversión al riesgo, etc.

www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 7

Desagregación VVE Postura del Consultor

7

- Como consultores creemos que la descomposición del VVE en diferentes componentes no es la manera adecuada de proceder.
- En la estimación del VVE se plantea un modelo teórico de comportamiento de un individuo racional
 - Este modelo finaliza en un VVE, que corresponde a una ecuación cuya expresión matemática dependerá de los distintos elementos y supuestos incorporados en el modelo.
- **Análisis de Estática Comparativa**
 - Permite ver que efecto marginal tiene cada parámetro del modelo en el valor del VVE, sin embargo...
 - La descomposición del VVE no cuenta con una base teórica sólida que permita realizarla.

www.GreenLabUC.cl**Diapositiva 8**

Propuesta del Consultor Parte I: Análisis Cualitativo

8

- Se propone realizar el Análisis de Estática Comparativa con el objetivo de entender de manera **cualitativa** los factores que influyen en el VVE.
- Considerando las preocupaciones de la contraparte se incluirán fenómenos de:
 - Aversión al Riesgo
 - Costos a la Salud
 - Capital Humano
 - Restricciones que afecten al comportamiento (Ej. Gastos comprometidos o deseo de dejar una herencia).
- Se propone realizar, adicionalmente, un Análisis Dinámico (evolución del VVE a lo largo del ciclo de vida) con resultados cualitativos en base a los resultados de Rizzi (2001).

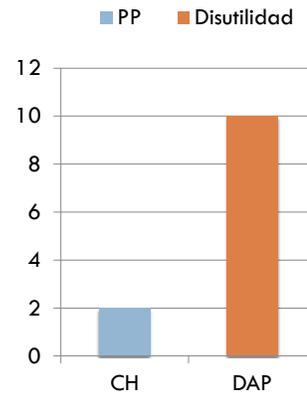
www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 9

Propuesta del Consultor Parte II: Análisis Cuantitativo

9

- El VVE estimado vía disposición al pago NO se puede desagregar
- El valor del Capital Humano corresponde solo a productividad perdida.



www.GreenLabUC.cl

Diapositiva 10

10

Comentarios?

V. Información Utilizada para el Cálculo del Valor de Capital Humano

Tabla 8-1 Numero de Muertes Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	1119	878	39	227	93	78	1381	1213
1	69	68	40	272	101	79	1325	1258
2	45	34	41	277	124	80	1381	1334
3	37	22	42	319	128	81	1406	1401
4	25	18	43	323	156	82	1208	1351
5	22	27	44	351	186	83	1081	1197
6	20	15	45	373	181	84	1158	1292
7	25	11	46	422	198	85	1042	1282
8	20	11	47	407	216	86	938	1340
9	20	18	48	467	238	87	862	1277
10	21	15	49	470	240	88	772	1223
11	18	16	50	506	246	89	665	1157
12	30	18	51	532	303	90	592	1031
13	35	15	52	481	280	91	543	998
14	41	27	53	517	325	92	421	921
15	54	45	54	581	329	93	358	822
16	90	45	55	619	346	94	282	686
17	110	40	56	589	360	95	224	600
18	132	52	57	634	387	96	184	473
19	151	45	58	658	371	97	124	358
20	169	45	59	667	413	98	85	273
21	187	42	60	753	417	99	77	172
22	157	46	61	753	468	100+	116	411
23	163	53	62	800	529			
24	178	58	63	886	526			
25	155	41	64	881	569			
26	168	45	65	925	598			
27	186	47	66	969	576			
28	175	61	67	991	669			
29	180	65	68	1010	659			
30	155	66	69	1082	687			
31	157	53	70	1038	714			
32	166	70	71	1064	700			
33	181	67	72	1097	772			
34	186	65	73	1040	770			
35	222	91	74	1156	885			
36	216	77	75	1166	853			
37	221	97	76	1269	1009			
38	210	90	77	1295	1066			

Fuente: INE (2009)

Tabla 8-2 Probabilidad de estar vivo a la edad de j+1 dado que se tiene la edad j según género y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0.9895	0.9917	39	0.9976	0.9991	78	0.9573	0.9710
1	0.9993	0.9993	40	0.9979	0.9993	79	0.9506	0.9662
2	0.9996	0.9997	41	0.9966	0.9988	80	0.9576	0.9683
3	0.9997	0.9998	42	0.9975	0.9991	81	0.9236	0.9368
4	0.9998	0.9998	43	0.9972	0.9987	82	0.9463	0.9539
5	0.9998	0.9997	44	0.9965	0.9982	83	0.9258	0.9520
6	0.9998	0.9999	45	0.9969	0.9987	84	0.9057	0.9402
7	0.9998	0.9999	46	0.9957	0.9983	85	0.8943	0.9399
8	0.9998	0.9999	47	0.9962	0.9983	86	0.8982	0.9038
9	0.9999	0.9998	48	0.9957	0.9981	87	0.8742	0.9153
10	0.9998	0.9999	49	0.9955	0.9979	88	0.8178	0.8902
11	0.9999	0.9999	50	0.9959	0.9983	89	0.8584	0.8923
12	0.9998	0.9999	51	0.9939	0.9968	90	0.8353	0.8742
13	0.9997	0.9999	52	0.9956	0.9978	91	0.7501	0.9003
14	0.9997	0.9998	53	0.9944	0.9966	92	0.8513	0.7973
15	0.9996	0.9997	54	0.9936	0.9970	93	0.8456	0.7128
16	0.9994	0.9997	55	0.9928	0.9965	94	0.7764	0.8257
17	0.9992	0.9997	56	0.9930	0.9961	95	0.8778	0.7586
18	0.9992	0.9997	57	0.9910	0.9953	96	0.8441	0.8578
19	0.9991	0.9997	58	0.9917	0.9960	97	0.9299	0.7695
20	0.9990	0.9997	59	0.9889	0.9948	98	0.0957	0.7798
21	0.9987	0.9997	60	0.9906	0.9956	99	0.6071	0.7342
22	0.9989	0.9997	61	0.9851	0.9923	100+	0.8742	0.5562
23	0.9987	0.9996	62	0.9880	0.9933			
24	0.9987	0.9996	63	0.9850	0.9927			
25	0.9988	0.9997	64	0.9854	0.9920			
26	0.9986	0.9996	65	0.9877	0.9929			
27	0.9984	0.9996	66	0.9796	0.9902			
28	0.9984	0.9995	67	0.9815	0.9883			
29	0.9978	0.9994	68	0.9787	0.9895			
30	0.9988	0.9995	69	0.9722	0.9878			
31	0.9981	0.9994	70	0.9798	0.9893			
32	0.9982	0.9993	71	0.9640	0.9809			
33	0.9981	0.9994	72	0.9732	0.9855			
34	0.9978	0.9994	73	0.9752	0.9835			
35	0.9981	0.9992	74	0.9610	0.9801			
36	0.9980	0.9993	75	0.9708	0.9824			
37	0.9977	0.9991	76	0.9612	0.9780			
38	0.9981	0.9993	77	0.9499	0.9648			

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2009) y Encuesta CASEN 2009

Tabla 8-3 Población Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	106,550	105,436	39	95,165	108,579	78	32,367	41,894
1	106,050	101,992	40	128,723	148,241	79	26,849	37,269
2	116,618	123,452	41	81,381	105,323	80	32,597	42,135
3	118,496	110,653	42	125,192	137,146	81	18,407	22,173
4	118,167	108,617	43	113,862	123,170	82	22,505	29,312
5	111,621	103,574	44	100,085	103,239	83	14,578	24,922
6	111,672	116,904	45	118,524	136,515	84	12,275	21,596
7	134,559	106,044	46	98,829	119,629	85	9,855	21,345
8	127,485	116,114	47	107,416	125,977	86	9,213	13,930
9	146,567	118,495	48	108,272	127,799	87	6,853	15,070
10	130,772	133,367	49	103,969	115,709	88	4,237	11,138
11	128,034	121,344	50	124,340	144,142	89	4,695	10,739
12	141,976	137,876	51	87,026	94,896	90	3,594	8,197
13	125,591	125,720	52	109,796	124,891	91	2,173	10,007
14	150,378	126,606	53	91,708	96,431	92	2,832	4,543
15	151,600	138,802	54	91,493	108,189	93	2,318	2,862
16	145,983	143,633	55	86,526	99,009	94	1,261	3,936
17	145,904	144,997	56	84,251	91,942	95	1,833	2,486
18	165,554	174,444	57	70,678	82,706	96	1,180	3,326
19	159,082	156,909	58	79,125	92,292	97	1,769	1,553
20	177,858	165,393	59	60,041	79,158	98	94	1,240
21	147,960	158,758	60	79,806	95,502	99	196	647
22	143,748	150,218	61	50,477	61,049	100+	922	926
23	128,883	132,890	62	66,540	79,529			
24	137,861	137,664	63	59,187	72,084			
25	127,597	130,885	64	60,506	70,833			
26	123,781	114,419	65	75,483	84,426			
27	118,553	120,374	66	47,576	58,868			
28	109,023	116,965	67	53,575	57,116			
29	80,964	101,918	68	47,363	62,470			
30	128,847	130,877	69	38,869	56,349			
31	82,108	84,262	70	51,480	66,766			
32	93,434	98,721	71	29,589	36,708			
33	95,571	109,200	72	40,987	53,368			
34	86,055	107,380	73	42,019	46,625			
35	113,982	108,896	74	29,677	44,581			
36	106,090	116,643	75	39,967	48,402			
37	95,140	110,611	76	32,690	45,819			
38	107,895	130,327	77	25,838	30,260			

Fuente: CASEN (2009)

Tabla 8-4 Población Empleada Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	85,222	60,262	78	3,465	1,498
1	0	0	40	114,730	82,390	79	3,194	1,410
2	0	0	41	72,517	54,470	80	3,859	465
3	0	0	42	112,044	74,339	81	1,758	219
4	0	0	43	100,188	70,119	82	2,778	744
5	0	0	44	88,192	57,345	83	1,106	446
6	0	0	45	108,320	72,107	84	479	552
7	0	0	46	88,444	57,515	85	521	33
8	0	0	47	94,143	66,579	86	328	21
9	0	0	48	94,895	63,337	87	63	61
10	0	0	49	92,172	60,492	88	66	104
11	0	0	50	109,433	70,394	89	195	129
12	0	0	51	77,648	47,632	90	74	0
13	0	0	52	96,472	58,018	91	6	2
14	0	0	53	79,335	44,007	92	0	0
15	3,475	2,021	54	78,073	49,888	93	156	0
16	6,439	1,869	55	71,120	46,921	94	0	0
17	15,278	6,068	56	68,051	37,658	95	309	0
18	34,782	19,486	57	54,266	33,845	96	4	0
19	50,120	33,444	58	66,751	32,723	97	0	0
20	75,045	50,365	59	46,740	26,045	98	0	0
21	69,329	43,967	60	61,872	32,022	99	0	7
22	71,380	49,016	61	36,742	15,934	100+	0	0
23	80,328	55,629	62	46,874	18,947			
24	91,883	64,045	63	40,730	16,865			
25	93,493	64,316	64	39,709	17,751			
26	92,715	56,497	65	41,751	12,447			
27	91,223	69,701	66	20,856	10,144			
28	88,561	65,249	67	19,937	6,813			
29	65,264	57,319	68	19,470	6,118			
30	107,764	78,484	69	11,089	7,538			
31	71,839	49,548	70	13,554	5,867			
32	79,525	55,009	71	7,538	3,939			
33	85,278	64,036	72	9,058	4,000			
34	76,608	60,885	73	7,944	3,045			
35	103,174	57,379	74	5,797	3,021			
36	95,460	60,938	75	7,763	2,735			
37	84,408	62,062	76	3,830	3,023			
38	97,882	76,185	77	4,181	988			

Fuente: CASEN (2009)

Tabla 8-5 Población Desocupada Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	5,715	5,483	78	214	0
1	0	0	40	7,819	7,726	79	54	0
2	0	0	41	3,569	5,404	80	0	0
3	0	0	42	7,467	6,073	81	51	0
4	0	0	43	6,569	5,706	82	129	0
5	0	0	44	4,407	5,765	83	0	0
6	0	0	45	5,163	5,092	84	0	0
7	0	0	46	4,079	8,403	85	28	0
8	0	0	47	5,519	5,032	86	0	0
9	0	0	48	4,683	6,164	87	0	0
10	0	0	49	4,300	5,316	88	0	0
11	0	0	50	5,474	4,959	89	0	0
12	0	0	51	3,475	3,002	90	0	0
13	0	0	52	5,550	4,374	91	0	0
14	0	0	53	4,671	3,481	92	0	0
15	1,276	863	54	5,208	3,694	93	0	0
16	4,363	2,902	55	4,006	2,890	94	0	0
17	8,077	7,131	56	4,496	4,305	95	0	0
18	19,121	15,663	57	3,699	2,009	96	0	0
19	22,377	20,744	58	2,337	760	97	0	0
20	24,448	19,689	59	2,545	777	98	0	0
21	17,350	17,101	60	2,365	5,803	99	0	0
22	18,429	17,867	61	1,475	891	100+	0	0
23	13,819	14,028	62	2,190	1,662			
24	14,855	12,652	63	1,463	450			
25	12,878	12,488	64	2,415	789			
26	15,147	13,122	65	2,081	130			
27	12,455	12,122	66	1,433	43			
28	11,527	8,677	67	410	470			
29	6,467	7,071	68	373	58			
30	13,237	9,098	69	899	156			
31	6,261	5,932	70	457	75			
32	8,635	7,414	71	399	49			
33	5,432	6,758	72	248	279			
34	6,360	7,520	73	570	164			
35	6,831	5,954	74	38	0			
36	6,054	8,520	75	302	0			
37	6,161	5,969	76	168	148			
38	4,895	8,089	77	0	30			

Fuente: CASEN (2009)

Tabla 8-6 Población Inactiva con Labores Productivas Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	104	32,962	78	242	2,536
1	0	0	40	769	44,279	79	111	2,577
2	0	0	41	559	35,375	80	261	2,586
3	0	0	42	255	44,736	81	467	836
4	0	0	43	822	35,129	82	593	1,656
5	0	0	44	366	30,094	83	97	1,473
6	0	0	45	628	42,884	84	30	479
7	0	0	46	666	39,596	85	19	554
8	0	0	47	238	39,069	86	0	627
9	0	0	48	763	40,652	87	0	734
10	0	0	49	446	34,355	88	57	505
11	0	0	50	1,287	44,295	89	69	459
12	0	0	51	1,000	31,511	90	52	126
13	0	0	52	336	38,278	91	12	150
14	0	0	53	157	29,888	92	0	439
15	380	3,014	54	232	32,536	93	0	0
16	973	3,808	55	1,192	28,337	94	0	89
17	450	6,314	56	331	29,046	95	0	0
18	1,666	16,652	57	322	26,445	96	35	83
19	638	15,942	58	713	29,906	97	0	0
20	982	24,607	59	128	25,089	98	0	0
21	299	25,169	60	744	30,232	99	0	0
22	716	24,732	61	456	18,426	100+	0	0
23	176	23,712	62	575	22,797			
24	177	26,220	63	605	20,955			
25	518	24,995	64	855	17,973			
26	74	26,620	65	534	21,319			
27	180	24,538	66	190	12,243			
28	65	31,314	67	221	9,709			
29	191	29,990	68	522	9,491			
30	298	29,612	69	438	8,274			
31	175	20,403	70	331	9,482			
32	139	27,602	71	369	4,350			
33	387	29,247	72	342	5,624			
34	19	30,629	73	140	5,988			
35	126	37,521	74	90	4,990			
36	238	36,007	75	158	4,976			
37	140	33,478	76	546	3,844			
38	419	37,624	77	54	2,672			

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN (2009)

Tabla 8-7 Población Inactiva con Salario de Reserva Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	336	3,209	78	518	2,206
1	0	0	40	1,344	5,093	79	846	2,048
2	0	0	41	1,285	2,708	80	1,910	1,806
3	0	0	42	1,221	3,668	81	732	1,212
4	0	0	43	1,331	4,429	82	339	1,946
5	0	0	44	1,481	4,062	83	593	647
6	0	0	45	899	5,186	84	628	687
7	0	0	46	794	4,184	85	3	858
8	0	0	47	694	5,589	86	465	273
9	0	0	48	1,632	6,240	87	56	1,631
10	0	0	49	974	3,958	88	152	296
11	0	0	50	1,492	8,227	89	152	519
12	0	0	51	1,006	4,216	90	169	1,041
13	0	0	52	1,105	6,182	91	151	4,686
14	0	0	53	736	5,188	92	60	170
15	7,131	6,774	54	560	6,864	93	0	0
16	5,006	5,884	55	1,043	5,463	94	89	114
17	8,570	8,746	56	782	4,639	95	0	0
18	12,292	16,574	57	1,125	5,815	96	83	0
19	15,636	10,136	58	1,233	12,555	97	0	13
20	12,592	6,644	59	1,727	4,368	98	0	127
21	8,533	6,601	60	1,920	5,581	99	0	0
22	7,635	7,909	61	1,617	7,162	100+	0	0
23	5,867	7,011	62	1,907	6,728			
24	4,841	5,462	63	2,258	5,368			
25	4,356	3,800	64	990	5,313			
26	2,425	2,392	65	1,871	4,819			
27	1,182	2,538	66	1,290	3,371			
28	1,130	3,171	67	1,035	3,134			
29	1,484	2,238	68	1,673	3,244			
30	1,685	4,375	69	1,210	3,398			
31	1,010	1,398	70	1,558	4,107			
32	1,497	1,788	71	1,286	2,758			
33	933	2,726	72	1,332	4,018			
34	1,132	3,039	73	885	2,029			
35	604	2,784	74	958	1,720			
36	1,240	2,831	75	2,594	3,141			
37	1,072	4,066	76	652	1,900			
38	914	2,125	77	429	2,252			

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN (2009)

Tabla 8-8 Población Inactiva sin Labores productivas Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	3,788	6,663	78	27,928	35,654
1	0	0	40	4,061	8,753	79	22,644	31,234
2	0	0	41	3,451	7,366	80	26,567	37,278
3	0	0	42	4,205	8,330	81	15,399	19,906
4	0	0	43	4,952	7,787	82	18,666	24,966
5	0	0	44	5,639	5,973	83	12,782	22,356
6	0	0	45	3,514	11,246	84	11,138	19,878
7	0	0	46	4,846	9,931	85	9,284	19,900
8	0	0	47	6,822	9,708	86	8,420	13,009
9	0	0	48	6,299	11,406	87	6,734	12,644
10	0	0	49	6,077	11,588	88	3,962	10,233
11	0	0	50	6,654	16,267	89	4,279	9,632
12	0	0	51	3,897	8,535	90	3,299	7,030
13	0	0	52	6,333	18,039	91	2,004	5,169
14	0	0	53	6,809	13,867	92	2,772	3,934
15	139,338	126,130	54	7,420	15,207	93	2,162	2,778
16	129,202	129,170	55	9,165	15,398	94	1,172	3,737
17	113,529	116,738	56	10,591	16,294	95	1,524	2,461
18	97,693	106,069	57	11,266	14,592	96	1,058	3,313
19	70,311	76,643	58	8,091	16,348	97	1,769	1,540
20	64,791	64,088	59	8,901	22,879	98	94	1,100
21	52,449	65,920	60	12,905	21,864	99	196	640
22	45,588	50,694	61	10,187	18,636	100+	922	926
23	28,693	32,510	62	14,994	29,395			
24	26,105	29,285	63	14,131	28,446			
25	16,352	25,286	64	16,537	29,007			
26	13,420	15,788	65	29,246	45,711			
27	13,513	11,475	66	23,807	33,067			
28	7,740	8,554	67	31,972	36,990			
29	7,558	5,300	68	25,325	43,559			
30	5,863	9,308	69	25,233	36,983			
31	2,823	6,981	70	35,580	47,235			
32	3,638	6,908	71	19,997	25,612			
33	3,541	6,433	72	30,007	39,447			
34	1,936	5,307	73	32,480	35,399			
35	3,247	5,258	74	22,794	34,850			
36	3,098	8,347	75	29,150	37,550			
37	3,359	5,036	76	27,494	36,904			
38	3,785	6,304	77	21,174	24,318			

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN (2009)

Tabla 8-9 Población Ocupada según genero y edad (Empleada + Inactiva con Labores Productivas + Inactiva con salario de Reserva)

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	85,662	96,433	78	4,225	6,240
1	0	0	40	116,843	131,762	79	4,151	6,035
2	0	0	41	74,361	92,553	80	6,030	4,857
3	0	0	42	113,520	122,743	81	2,957	2,267
4	0	0	43	102,341	109,677	82	3,710	4,346
5	0	0	44	90,039	91,501	83	1,796	2,566
6	0	0	45	109,847	120,177	84	1,137	1,718
7	0	0	46	89,904	101,295	85	543	1,445
8	0	0	47	95,075	111,237	86	793	921
9	0	0	48	97,290	110,229	87	119	2,426
10	0	0	49	93,592	98,805	88	275	905
11	0	0	50	112,212	122,916	89	416	1,107
12	0	0	51	79,654	83,359	90	295	1,167
13	0	0	52	97,913	102,478	91	169	4,838
14	0	0	53	80,228	79,083	92	60	609
15	10,986	11,809	54	78,865	89,288	93	156	0
16	12,418	11,561	55	73,355	80,721	94	89	203
17	24,298	21,128	56	69,164	71,343	95	309	0
18	48,740	52,712	57	55,713	66,105	96	122	83
19	66,394	59,522	58	68,697	75,184	97	0	13
20	88,619	81,616	59	48,595	55,502	98	0	127
21	78,161	75,737	60	64,536	67,835	99	0	7
22	79,731	81,657	61	38,815	41,522	100+	0	0
23	86,371	86,352	62	49,356	48,472			
24	96,901	95,727	63	43,593	43,188			
25	98,367	93,111	64	41,554	41,037			
26	95,214	85,509	65	44,156	38,585			
27	92,585	96,777	66	22,336	25,758			
28	89,756	99,734	67	21,193	19,656			
29	66,939	89,547	68	21,665	18,853			
30	109,747	112,471	69	12,737	19,210			
31	73,024	71,349	70	15,443	19,456			
32	81,161	84,399	71	9,193	11,047			
33	86,598	96,009	72	10,732	13,642			
34	77,759	94,553	73	8,969	11,062			
35	103,904	97,684	74	6,845	9,731			
36	96,938	99,776	75	10,515	10,852			
37	85,620	99,606	76	5,028	8,767			
38	99,215	115,934	77	4,664	5,912			

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN (2009)

Tabla 8-10 Ingreso Medio Anual Año 2009 según genero y edad

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	0	0	39	\$ 5,652,371	\$ 5,264,616	78	\$ 7,604,119	\$ 3,928,712
1	0	0	40	\$ 5,703,725	\$ 5,304,914	79	\$ 13,008,900	\$ 4,332,494
2	0	0	41	\$ 5,857,746	\$ 5,382,612	80	\$ 10,118,472	\$ 2,582,279
3	0	0	42	\$ 5,542,944	\$ 5,140,549	81	\$ 11,209,558	\$ 2,385,430
4	0	0	43	\$ 5,567,851	\$ 5,276,328	82	\$ 5,056,973	\$ 3,274,862
5	0	0	44	\$ 5,591,413	\$ 4,909,192	83	\$ 7,277,028	\$ 1,506,266
6	0	0	45	\$ 5,727,424	\$ 5,131,250	84	\$ 16,020,228	\$ 2,140,392
7	0	0	46	\$ 5,719,414	\$ 5,170,171	85	\$ 15,136,848	\$ 4,543,067
8	0	0	47	\$ 6,048,944	\$ 5,582,604	86	\$ 4,138,427	\$ 547,733
9	0	0	48	\$ 5,694,296	\$ 5,503,054	87	\$ 21,796,392	\$ 27,730,164
10	0	0	49	\$ 5,826,130	\$ 5,024,872	88	\$ 1,666,040	\$ 6,025,067
11	0	0	50	\$ 5,900,282	\$ 5,436,613	89	\$ 14,776,632	\$ 6,298,933
12	0	0	51	\$ 6,855,143	\$ 5,994,572	90	\$ 0	\$ 0
13	0	0	52	\$ 6,034,612	\$ 5,434,637	91	\$ 78,052,008	\$ 0
14	0	0	53	\$ 6,332,473	\$ 5,568,941	92	\$ 0	\$ 0
15	\$ 1,566,084	\$ 1,566,084	54	\$ 6,411,496	\$ 6,177,040	93	\$ 7,942,133	\$ 0
16	\$ 2,121,744	\$ 2,002,370	55	\$ 6,277,888	\$ 5,742,751	94	\$ 0	\$ 0
17	\$ 2,204,659	\$ 2,159,923	56	\$ 6,742,088	\$ 5,693,618	95	\$ 0	\$ 0
18	\$ 2,589,462	\$ 2,592,155	57	\$ 6,548,983	\$ 5,704,560	96	\$ 0	\$ 0
19	\$ 2,938,190	\$ 2,911,699	58	\$ 6,009,463	\$ 5,389,228	97	\$ 0	\$ 0
20	\$ 3,105,683	\$ 3,102,136	59	\$ 5,863,862	\$ 5,000,449	98	\$ 0	\$ 0
21	\$ 3,392,701	\$ 3,260,364	60	\$ 6,805,298	\$ 5,856,931	99	\$ 0	\$ 0
22	\$ 3,505,374	\$ 3,474,085	61	\$ 6,017,450	\$ 5,523,529	100+	\$ 0	\$ 0
23	\$ 3,698,363	\$ 3,671,454	62	\$ 6,309,032	\$ 5,849,038			
24	\$ 4,074,589	\$ 3,962,676	63	\$ 6,537,415	\$ 5,679,370			
25	\$ 4,456,076	\$ 4,361,291	64	\$ 6,343,850	\$ 5,056,916			
26	\$ 4,595,333	\$ 4,519,327	65	\$ 6,409,363	\$ 4,777,627			
27	\$ 4,667,219	\$ 4,666,328	66	\$ 6,654,695	\$ 5,723,350			
28	\$ 4,879,573	\$ 4,912,123	67	\$ 5,841,818	\$ 4,401,208			
29	\$ 5,132,359	\$ 4,811,561	68	\$ 6,441,006	\$ 4,399,813			
30	\$ 5,362,819	\$ 5,142,355	69	\$ 6,057,810	\$ 4,427,194			
31	\$ 5,375,233	\$ 5,289,064	70	\$ 6,497,393	\$ 4,567,236			
32	\$ 5,615,026	\$ 5,309,057	71	\$ 9,469,211	\$ 3,580,421			
33	\$ 5,676,011	\$ 5,370,338	72	\$ 6,303,758	\$ 5,354,890			
34	\$ 5,197,289	\$ 5,178,862	73	\$ 7,224,680	\$ 3,222,835			
35	\$ 5,697,282	\$ 5,229,998	74	\$ 5,410,330	\$ 4,541,455			
36	\$ 5,711,989	\$ 5,374,006	75	\$ 6,533,593	\$ 4,928,148			
37	\$ 5,725,270	\$ 5,229,684	76	\$ 9,974,598	\$ 4,725,068			
38	\$ 5,283,847	\$ 5,117,292	77	\$ 7,553,770	\$ 3,541,170			

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social (2011)

VI. Valor Capital Humano según género y Edad

Tabla 8-11 Valor Capital Humano según género y edad (\$ de 2011)

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	44,053,308	41,016,927	39	94,788,723	82,231,539	78	9,455,571	4,704,847
1	46,301,107	43,015,255	40	93,249,224	80,478,456	79	9,186,178	4,398,779
2	48,183,879	44,765,132	41	91,520,040	78,595,815	80	7,849,425	3,967,070
3	50,129,930	46,567,960	42	89,649,863	76,660,999	81	6,476,981	3,934,987
4	52,150,736	48,439,683	43	87,974,924	74,768,385	82	5,323,266	4,101,566
5	54,247,541	50,384,969	44	86,278,836	72,717,432	83	4,938,244	3,940,548
6	56,427,835	52,413,353	45	84,542,319	71,002,239	84	4,566,365	4,135,237
7	58,694,701	54,516,177	46	82,394,110	68,998,290	85	3,620,446	4,387,996
8	61,053,043	56,701,973	47	80,364,985	67,087,560	86	3,298,089	4,518,636
9	63,504,306	58,974,876	48	78,039,892	64,497,921	87	3,429,122	5,159,873
10	66,052,638	61,342,396	49	75,915,046	62,010,141	88	3,665,350	979,972
11	68,704,888	63,802,443	50	73,572,268	59,930,244	89	4,542,925	609,363
12	71,462,206	66,362,433	51	71,002,269	57,362,041	90	4,072,026	0
13	74,335,440	69,025,049	52	67,432,235	54,086,824	91	5,069,974	0
14	77,329,409	71,793,689	53	64,550,599	51,498,084	92	389,135	0
15	80,443,478	74,680,397	54	61,452,626	48,742,687	93	475,362	0
16	83,565,804	77,546,051	55	58,273,057	45,269,996	94	0	0
17	86,763,499	80,495,827	56	55,218,066	42,123,844	95	0	0
18	89,899,340	83,393,409	57	51,776,089	39,147,772	96	0	0
19	92,734,805	85,897,092	58	48,686,964	35,917,088	97	0	0
20	95,193,210	88,149,252	59	45,351,219	32,701,755	98	0	0
21	97,401,150	90,024,507	60	42,503,054	30,352,594	99	0	0
22	99,463,637	91,947,679	61	38,603,950	27,154,087	100+	0	0
23	101,427,175	93,587,914	62	35,694,064	24,348,654			
24	102,905,390	94,759,374	63	32,454,133	21,592,320			
25	104,025,788	95,575,871	64	28,997,861	18,898,711			
26	104,559,296	96,034,961	65	25,837,265	16,608,873			
27	105,021,489	96,219,925	66	23,102,523	15,007,778			
28	105,405,556	96,002,814	67	21,108,357	13,022,786			
29	105,402,319	95,312,130	68	19,838,344	12,047,237			
30	105,219,665	94,562,280	69	17,858,354	11,210,083			
31	104,562,259	93,559,190	70	16,932,852	10,151,290			
32	103,722,434	92,462,670	71	15,840,288	9,215,488			
33	102,726,671	91,263,317	72	13,870,050	8,591,665			
34	101,411,251	89,806,111	73	13,015,863	7,569,067			
35	100,557,755	88,465,481	74	12,193,003	7,167,511			
36	99,101,798	86,948,008	75	11,829,505	6,520,752			
37	97,565,702	85,456,130	76	10,791,955	5,694,527			
38	96,067,291	83,799,852	77	9,998,598	5,066,634			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-12 Valor Capital Humano según género y edad (UF)

Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres	Edad	Hombres	Mujeres
0	1,983	1,846	39	4,267	3,702	78	426	212
1	2,084	1,936	40	4,198	3,623	79	414	198
2	2,169	2,015	41	4,120	3,538	80	353	179
3	2,257	2,096	42	4,036	3,451	81	292	177
4	2,348	2,181	43	3,960	3,366	82	240	185
5	2,442	2,268	44	3,884	3,274	83	222	177
6	2,540	2,360	45	3,806	3,196	84	206	186
7	2,642	2,454	46	3,709	3,106	85	163	198
8	2,748	2,553	47	3,618	3,020	86	148	203
9	2,859	2,655	48	3,513	2,904	87	154	232
10	2,974	2,762	49	3,418	2,792	88	165	44
11	3,093	2,872	50	3,312	2,698	89	205	27
12	3,217	2,987	51	3,196	2,582	90	183	0
13	3,346	3,107	52	3,036	2,435	91	228	0
14	3,481	3,232	53	2,906	2,318	92	18	0
15	3,621	3,362	54	2,766	2,194	93	21	0
16	3,762	3,491	55	2,623	2,038	94	0	0
17	3,906	3,624	56	2,486	1,896	95	0	0
18	4,047	3,754	57	2,331	1,762	96	0	0
19	4,175	3,867	58	2,192	1,617	97	0	0
20	4,285	3,968	59	2,042	1,472	98	0	0
21	4,385	4,053	60	1,913	1,366	99	0	0
22	4,478	4,139	61	1,738	1,222	100+	0	0
23	4,566	4,213	62	1,607	1,096			
24	4,633	4,266	63	1,461	972			
25	4,683	4,303	64	1,305	851			
26	4,707	4,323	65	1,163	748			
27	4,728	4,332	66	1,040	676			
28	4,745	4,322	67	950	586			
29	4,745	4,291	68	893	542			
30	4,737	4,257	69	804	505			
31	4,707	4,212	70	762	457			
32	4,669	4,162	71	713	415			
33	4,625	4,108	72	624	387			
34	4,565	4,043	73	586	341			
35	4,527	3,983	74	549	323			
36	4,461	3,914	75	533	294			
37	4,392	3,847	76	486	256			
38	4,325	3,772	77	450	228			

Fuente: Elaboración propia

9. Bibliografía

Abelson (2007). Establishing a Monetary Value for Lives Saved: Issues and Controversies, Working Papers in Cost benefit Analysis WP 2008-2, Department of Finance and Deregulation, <http://www.finance.gov.au/obpr/docs/Working-paper-2-Peter-Abelson.pdf> (accessed 18 November 2008).

AIRNET (2005). Air pollution and the risks to human health-Exposure assessment.

Anscombe F. & Aumann R. (1963). A definition of subjective probability. *Annals of Mathematical Statistics* 34, 199-205.

Arthur, W. B. (1981). The economics of risks to life. *American Economic Review* 71, 54 - 64.

Beattie J., Covey J., et al. (1998). On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: Part 1 - caveat investigator, *Journal of Risk and Uncertainty* 17, 5-25.

Bell, M. L., M. S. O'Neill, et al. (2005). "International Symposium on Socioeconomic Factors and Air Pollution Health Effects." *Environmental Science and Technology* accepted.

Bronfman N. & Cifuentes L. (2003). Risk perception in a developing country: the case of Chile. *Risk Analysis* 6, 1309-1323.

Cakmak, S., R. E. Dales, et al. (2009). "Components of Particulate Air Pollution and Emergency Department Visits in Chile." *Archives of Environmental & Occupational Health* 64(3): 148-155.

Cakmak, S., R. E. Dales, et al. (2007). "Air Pollution and Mortality in Chile: Susceptibility among the Elderly." *Environ Health Perspect* 115(4).

Cakmak Sabit, Dales Robert E., et al. (2006). "Respiratory health effects of air pollution gases: modification by education and income." *Archives of Environmental & Occupational Health* 61(1): 5-10.

Carthy T., Chilton S., et al. (1999). On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: Part 2 - The CV/SG "chained" approach. *Journal of Risk and Uncertainty*, 17, 187-214.

Chestnut L. G., D. Mills, et al. (1999). Air Quality Valuation Model Version 3.0 (AQVM 3.0), Report 2: Methodology, Colorado: Stratus Consulting.

- Chiang, A. (1987). *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*. McGraw-Hill, Naucalpan de Juarez.
- Chiang, A. (1992). *Elements of Dynamic Optimization*. Mc Graw-Hill, Inc. Nueva York.
- Cifuentes, L., J. Vega, et al. (1999). Daily mortality by cause and socio-economic status in Santiago, Chile. 3rd Colloquium on Particulate Matter and Human Health, Durham, NC, USA.
- Cifuentes, L. A., J. Vega, et al. (2000). "Effect of the Fine Fraction of Particulate Matter versus the Coarse Mass and Other Pollutants on Daily Mortality in Santiago, Chile." *Air & Waste Management Association* 50: 1287-1298.
- Corso P.S., Hammitt J.K., et al. (2000). Evaluating the effect of visual aids on willingness to pay for reductions in mortality risk. In: *Proceedings of the Paper Presented at the Annual Meeting of the Association of Environmental and Resource Economists*.
- Cropper M. & Susman F. (1990). Valuing future risks to life. *Journal of Environmental Economics and Management* 19, 160-174.
- Cropper M. & Sussman F. (1988). Families and the economics of risks to life. *American Economic Review* 78, 255-260.
- Dales, R. E., S. Cakmak, et al. (2009). "Air Pollution and Hospitalization for Headache in Chile." *Am. J. Epidemiol.* 170(8): 1057-1066.
- Dales, R. E., S. Cakmak, et al. (2010). "Air pollution and hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile." *Journal of Thrombosis and Haemostasis* 8(4): 669-674.
- Desaigues B. & Rabl A. (1995). Reference values for human life: an econometric analysis of a contingent valuation in France. In: Schwab Christe, N.G., Soguel, N.C. (Eds.), *Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 85–112.
- Dillingham A.E. (1985). "The Influence of Risk Variable Definition on Value-of-Life Estimates," *Economic Inquiry* 23(2), 277-294.
- Dockery, D. W., C. A. Pope III, et al. (1993). "An association between air pollution and mortality in Six U.S. Cities." *The New England Journal of Medicine* 329: 1753-1759.
- Eeckhoudt L. R. & Hammitt J. K. (2004). Does risk aversion increase the value of mortality risk? *Journal of Environmental Economics and Management*, 47, 13–29.

Eftim, S. E., J. M. Samet, et al. (2008). "Fine particulate matter and mortality: a comparison of the six cities and American Cancer Society cohorts with a medicare cohort." *Epidemiology* 19(2): 209.

Elvik R. (1993). Økonomisk verdsetting av velferdstap ved trafikkulykker Dokumentasjonsrapport. Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 203/1993, Oslo, Norway.

EPA (1999). *The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010*. Washington DC, US Government.

EPA (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. Research Triangle Park, N.C., U.S. Environmental Protection Agency.

EPA (2006). *Air Control Net*. Springfield, VA, U.S. Environmental Protection Agency (Office of Air Quality Planning and Standards).

EPA (2008a). *Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen — Health Criteria*. Research Triangle Park, NC, U.S. Environmental Protection Agency.

EPA (2008b). *Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria*. Research Triangle Park, NC, U.S. Environmental Protection Agency.

EPA (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter: Final Report*. Research Triangle Park, NC, US Government.

EPA (2010a). *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program BENMAP*.

EPA (2010b). *Guidelines for Preparing Economic Analyses*. En [http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwAN/EE-0568-50.pdf/\\$file/EE-0568-50.pdf](http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwAN/EE-0568-50.pdf/$file/EE-0568-50.pdf).

Escobari J. (2000). *Valoración de Reducciones de Riesgo de Muerte a una Edad Avanzada para Políticas Ambientales*. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile.

European Commission Directorate General Regional Policy (2008). *Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects*. En http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008_en.pdf.

Evans A.W. (1994). *Evaluating public transport and road research safety measures*. *Accident Analysis and Prevention* 26, 411-428.

Evans M.F. & Smith V.K. (2010). Measuring how risk tradeoffs adjust with income J Risk Uncertain 40, 33–55.

Freeman A.M. III (2003). The Measurement of Environmental and Resource Values. Segunda Edición. Resources for the Future, Washington D.C.

Garen J. (1988). “Compensating Wage Differentials and the Endogeneity of Job Riskiness,” Review of Economics and Statistics 70(1), 9-16.

Gerking S., M. de Haan, et al. (1988). “The Marginal Value of Job Safety: A Contingent Valuation Study,” Journal of Risk and Uncertainty 1(2), 185-199.

Gouveia N. & T. Fletcher (2000). “Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status.” J Epidemiol Community Health 54(10): 750-5.

GreenLabUC (2011). Guía Metodológica para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. Estudio encargado por el Ministerio de Medio Ambiente.

Hammit J.K. (2007). “Valuing Changes in Mortality Risk: Lives Saved versus Life Years Saved.” Review Of Environmental Economics and Policy. 1(2), 228-240.

Hammit J.K. & J-T Liu. (2004). “Effects of Disease Type and Latency on the Value of Mortality Risk.” Journal of Risk and Uncertainty. 28, 73-95.

Hammit J.K. & K. Haninger (2010). “Valuing Fatal Risks to Children and Adults: Effects of Disease, Latency, and Risk Aversion.” Journal of Risk and Uncertainty. 40, 57-83.

Hanemann W.M. (1991). Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ? American Economic Review 81, 653-647.

Hausman J. (Ed.) (1993). Contingent Valuation. A Critical Assessment. North Holland, Amsterdam.

Herzog Jr. H.W. & A.M. Schlottmann. (1990). “Valuing Risk in the Workplace: Market Price, Willingness to Pay, and the Optimal Provision of Safety,” Review of Economics and Statistics 72(3), 463-470.

Hojman P., Ortúzar J. de D., et al. (2005). On the joint valuation of averting fatal victims and severe injuries in highway accidents. Journal of Safety Research (in press).

INE (2009). Informe Anual Estadísticas Vitales.

Instituto Nacional de Estadísticas (1997). Encuesta de Ingreso de Hogares. Santiago.

Iragüen P. & Ortúzar J. de D. (2004). Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an internet-based web page stated preference survey. *Accident Analysis and Prevention* 36, 513-524.

Johannesson M., Johansson P.-O., et al. (1996). The value of private safety versus the value of public safety. *Journal of Risk and Uncertainty* 13, 263–275.

Johannesson M. & Johansson P. (1996). To be or not to be: an empirical study of the wtp for an increased life expectancy at an advanced age. *Journal of Risk and Uncertainty* 13, 163-174.

Johansson P. (1996). On the value of changes in life expectancy. *Journal of Health Economics* 15, 105-113.

Jones-Lee M.W., Hammerton M., et al. (1983). The value of transport safety: results of a national sample survey. Report to the Department of Transport, University of Newcastle-upon-Tyne, Department of Economics, Newcastle-upon-Tyne.

Jones Lee M. (1994). Safety and the savings of life. En R. Layard y S. Glaister (Eds.), *Cost - Benefit Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.

Jones Lee M., Hammerton M., et al. (1985). The value of safety: results of a national sample survey. *The Economic Journal* 95, 49-72.

Jones Lee M. & Loomes G. (1995). Scale and context effects en the valuation of transport safety. *Journal of Risk and Uncertainty* 11, 183-203.

Jones Lee M., Loomes G., et al. (1995). Valuing the prevention of non-fatal road injuries: contingent valuation vs standard gambles. *Oxford Economics Papers* 47, 676 - 695.

Jones Lee M., O'Reilly D., et al. (1993). The value of preventing non-fatal road injuries: findings of a willingness to pay national sample survey. TRL Working Paper WPSRC2, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Kaplow L. (2005). "The Value of a Statistical Life and the Coefficient of Relative Risk Aversion." *Journal of Risk and Uncertainty*. 31(1), 23-34.

Kidholm K. (1995). Assessing the value of traffic safety using contingent valuation technique: the Danish survey. In: Schwab Christe, N.G., 1986 A. de Blaeij et al. / *Accident Analysis and*

Prevention 35 (2003) 973–986 Soguel, N.C. (Eds.), *Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 45–62.

Kniesner T.J. & J.D. Leeth. (1991). “Compensating Wage Differentials for Fatal Injury Risk in Australia, Japan, and the United States,” *Journal of Risk and Uncertainty* 4(1), 75-90.

Kochi I., Hubbell B., et al. (2006). An empirical Bayes approach to combining and comparing estimates of the value of a statistical life for environmental policy analysis. *Environmental and Resource Economics*, 34, 385–406.

Krupnick A., Alberini A., et al. (1999). *Mortality Risk Valuation for Environmental Policy*. Washington, DC, RFF Discussion Paper 99-47.

Lanoie P., C. Pedro, et al. (1995). “The Value of a Statistical Life: A Comparison of Two Approaches,” *Journal of Risk and Uncertainty* 10, 235-257.

Leigh J.P. (1987). “Gender, Firm Size, Industry, and Estimates of the Value of Life,” *Journal of Health Economics* 1, 331-344.

Leigh J.P. & R.N. Folsom (1984). “Estimates of the Value of Accident Avoidance at the Job Depend on the Concavity of the Equalizing Differences Curve,” *Quarterly Review of Economics and Business* 24(1), 56-66.

Louviere J.J., Hensher D.A., et al. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press, Cambridge.

Maier G., Gerking S., et al. (1989). The economics of traffic accidents on Australian roads: risk lovers or policy deficit? *Empirica-Australian Economic Papers* 16, 177–192.

Marin A. & H. Psacharopoulos (1982). “The Reward for Risk in the Labor Market: Evidence from the United Kingdom and a Reconciliation with Other Studies,” *Journal of Political Economy* 90(4), 827-853. .

McDaniels T.L. (1992). Reference points, loss aversion and contingent valuation for auto safety. *Journal of Risk and Uncertainty* 5, 187–200.

McFadden D. (2005). *The New Science of Pleasure. Consumer Behavior and the Measurement of Well-Being*. Econometric Society World Congress, London, August 20, 2005, <http://elsa.berkeley.edu/wp/mcfadden0105/ScienceofPleasure.pdf>.

MIDEPLAN (2011). *Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos*. E. e. I. División de Planificación. Santiago, Chile,.

- Miller, K., D. Siscovick, et al. (2007). "Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women." *New England Journal of Medicine* 356(5): 447.
- Miller T.R. (2000). "Variations between Countries in Values of Statistical Life," *Journal of Transport Economics and Policy* 34(2), 169-188.
- Miller T.R. &Guria J. (1991). *The Value of Statistical Life in New Zealand, Market Research on Road Safety*. Land Transport Division, Ministry of Transport, Wellington.
- Ministerio de Desarrollo Social (2011). *Estimacion de los Costos de Fallecimiento Prematuro a traves del Enfoque de Capital Humano*.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia (1995). Decreto 93. Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. Gobierno de Chile.
- Moore M.J. &W.K. Viscusi (1988). "The Quantity-Adjusted Value of Life," *Economic Inquiry* 26, 369-388.
- Morrall III J.F. (1986). *A Review of the Record*. Regulation, pp. 25–34.
- Mrozek, Janusz R., et al. (2002). "What Determines the Value of Life? A Meta-Analysis." *Journal of Policy Analysis and Management*, 21.2 253-270.
- Naciones Unidas (2006). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas*. Revisión 4.
- Nash C.A. (1990). *Appraising the environmental effects of road schemes*, Working Paper, Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- NERA (2011). *Updating the VPF and VPIs: Phase 1: Final Report* Department for Transport. En <http://www.pacts.org.uk/docs/pdf-bank/vpivpfreport.pdf>.
- New Zealand Ministry of Transport (2009). *Understanding Transport Costs and Charges*.
- NRC (2004). *Research priorities for airborne particulate matter: IV. Continuing research progress.*, National Research Council.
- O'Neil, M. S., M. L. Bell, et al. (2008). "Air Pollution and Mortality in Latin America: The Role of Education." *Epidemiology* 19(6): 810-819.

O'Neill, M. S., M. Jerrett, et al. (2003). "Health, wealth, and air pollution: advancing theory and methods." *Environ Health Perspect* 111(16): 1861-1870.

Olson C.A. (1981). "An Analysis of Wage Differentials Received by Workers on Dangerous Jobs," *Journal of Human Resources* 16(2), 167-185.

Ortúzar J. de D. & Willumsen L.G. (2011). *Modelling Transport*. Cuarta Edición, John Willey & Sons, Chichester.

Ortúzar J. de D. (1994). *Modelos de Demanda de Transporte*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

Persson U. & Cedervall M. (1991). The value of risk reduction: results of a Swedish sample survey. The Swedish Institute for Health Economics, Lund, IHE Working Paper 1991:6, Lund, Sweden. .

Persson U., Norindr A., et al. (1995). Valuing the benefits of reducing the risk of non-fatal road injuries: the Swedish experiment. In: Schwab Christe, N.G., Soguel, N.C. (Eds.), *Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 63–84.

Pope, C. A., 3rd, R. T. Burnett, et al. (2002). "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution." *Jama* 287(9): 1132-1141.

Pope, C. A., 3rd, R. T. Burnett, et al. (2004). "Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease." *Circulation* 109(1): 71-77.

Pope, C. A., 3rd & D. W. Dockery (2006). "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect." *Journal of the Air & Waste Management Association* 56(6): 709-742.

Prieto J.J. (2000). *Valoración de Reducciones de Riesgo de Muerte en el Corto Plazo en Chile: Aplicación del Método de Valoración Contingente*. Tesis de Magister. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Puebla A.M. (2005). *Experiencia Chilena en Valoración de Efectos en la Salud por Contaminación Atmosférica y su Aplicación a Planes de Transporte Urbano*. Memoria de Grado. Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rizzi L.I. (2001). *Economía de los Accidentes Fatales: Una Aplicación al Caso de Seguridad Vial en Carreteras*. Ph.D. Thesis, Department of Transport Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Rizzi L.I. & Ortúzar J. de D. (2003). Stated preference in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis and Prevention* 35, 9-22.
- Rizzi L.I. & Ortúzar J. de D. (2006). Estimating the Willingness-to-Pay for Road Safety Improvements. *Transport Reviews* 26, 471-486.
- Román A, O., M. J. Prieto C, et al. (2009). "Aumento del riesgo de consultas cardiovasculares por contaminación atmosférica por partículas: Estudio en la ciudad de Santiago." *Revista Chilena de Cardiología* 28: 159-164.
- Roman, H. A., K. D. Walker, et al. (2008). "Expert judgment assessment of the mortality impact of changes in ambient fine particulate matter in the U.S." *Environ Sci Technol* 42(7): 2268-2274.
- Rosen S. (1988). The value of changes in life expectancy. *Journal of Risk and Uncertainty* 1, 285-304.
- Saelesminde K. (2003). Embedding effects in valuation of non-market goods. *Transport Policy*, 10, 59-72.
- Samuelson P. (1947). *Foundation of Economic Analysis*. Atheneum 80, New York.
- Sanhueza, P., L. Díaz, et al. (2007). Análisis del Efecto a Corto Plazo de la Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable sobre la Mortalidad y Morbilidad por Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Temuco. Estudio desarrollado para CONAMA Novena Región.
- Schwab Christe N. & Soguel N. Eds. (1995). *Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life*. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Schwab Christe N.G. (1995). The valuation of human costs by the contingent valuation method: the Swiss experience. In: Schwab Christe, N.G., Soguel, N.C. (Eds.), *Contingent Aluation, Transport Safety and the Value of Life*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 19-44.
- Shepard D. & Zeckhauser R. (1984). Survival versus consumption. *Management Science* 30, 423-439.
- Smith R.S. (1974). "The Feasibility of an 'Injury Tax' Approach to Occupational Safety," *Law and Contemporary Problems* 38(4), 730-744.
- Smith R.S. (1976). *The Occupational Safety and Health Act: Its Goals and Achievements*. Washington: American Enterprise Institute.

- Smith V.K. (1983). The Role of Site and Job Characteristics in Hedonic Wage Models. *Journal of Urban Economics* 13: 296-321.
- Smith V.K. & C.C.S. Gilbert. (1984). "The Implicit Valuation of Risks to Life: A Comparative Analysis," *Economics Letters* 16, 393-399.
- Sommer H., Seethaler R., et al. (1999). Health Costs due to Road Traffic-Related Air Pollution. An Impact Assessment Project of Austria, France and Switzerland. World Health Organization, Londres.
- Subelman J.J. (2000). Disposición a Pagar por Reducciones Permanentes en la Contaminación del Aire en Santiago: Método De Valoración Contingente. Tesis de Magister. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Train K.E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Trawen A., Maraste P., et al. (2002). International comparison of costs of a fatal casualty of road accidents in 1990 and 1999. *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 323–332.
- Viscusi W., Maga, et al. (1991). Pricing environmental health risks. *Journal of Environmental Economics and Management* 21, 32 – 52.
- Viscusi W. K. (1993). The value of risks to life and health. *Journal of Economic Literature* XXXI, 1912 - 1946.
- Viscusi W. K. (2004). "The Value of Life: Estimates with Risks by Occupation and Industry." *Economic Inquiry*, 42, 29-48.
- Viscusi W. K. & Aldy J.E. (2003). The value of statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty* 27, 5-76.
- Viscusi W.K. (1978). Wealth Effects and Earnings Premiums for Job Hazards, *Review of Economics and Statistics* 60(3), 408-416.
- Viscusi W.K. (1979). *Employment Hazards: An Investigation of Market Performance*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Viscusi W.K. (1981). Occupational Safety and Health Regulation: Its Impact and Policy Alternatives." In J.P. Crecine (ed.), *Research in Public Policy Analysis and Management*. Greenwich, CT: JAI Press, vol. 2, 281-299.

Viscusi, W. K., W. Magat, et al. (1991). "Pricing environmental health risks: Survey assessments of risk-risk and risk-dollar trade-offs for chronic bronchitis." *Journal of Environmental economics and management* 21: 32-51.

Yaari M. (1965). Uncertain lifetime, life insurance and the theory of the consumer. *Review of Economic Studies* 32, 137-150.