



MANUAL DE HEBASH - HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS AMBIENTALES Y EN SALUD HUMANA DERIVADOS DE CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AIRE

Entregable 2, consultoría apoyo en apropiación de uso y corridas de
datos en herramientas HEBASH, HEMAQ y HETRANS para el análisis
del impacto económico y ambiental de las medidas en las que el
programa CALAC+ contribuye

05 de mayo de 2021

Paulina Estela Schulz Antipa
Paulina.schulz@gmail.com

Índice de Contenidos

Lista de acrónimos, abreviaciones, unidades y notación.....	3
Instituciones.....	3
Sustancias.....	4
Abreviaciones.....	4
Unidades	6
Notación.....	6
1 Antecedentes	7
2 Introducción a HEBASH	8
3 Uso básico de HEBASH – hoja “Principal”	9
4 <i>Check-lists</i> para el uso de la herramienta	12
5 Uso avanzado de la HEBASH y preparación de bases de datos	13
5.1 Hoja “Calc Salud”	13
5.1.1 Módulo A: Datos de entrada para la ciudad seleccionada.	14
5.1.2 Módulo B: Línea base y Módulo C: Escenario de reducción de emisiones.....	15
5.1.3 Módulo D: Comparación de escenarios	17
5.2 Hoja “Población”	18
5.2.1 Preparación de datos para hoja “Población”	20
5.3 Hoja “Tasas incidencia”	20
5.3.1 Preparación de datos para hoja “Tasas de incidencia”	21
5.4 Hoja “Cal aire”	23
5.4.1 Preparación de datos para hoja “Cal aire”	23
5.5 Hoja “iFs CMs”	25
5.5.1 Preparación de datos para hoja “iFs CM”	26
5.6 Hoja “RR”	26
5.6.1 Preparación de datos para hoja “RR”	27
5.7 Hoja WEO	28
5.7.1 Preparación de datos para hoja “WEO”	28
5.8 Hoja Otros	30
5.8.1 Preparación de datos para hoja “Otros”	31
5.9 Hoja “Aux”	32
5.9.1 Preparación de datos para hoja	33
6 Anexos metodológicos.....	34

6.1	Relación entre emisiones y concentraciones.....	34
6.1.1	Fracciones de consumo o <i>intake fractions</i>	34
6.1.2	Factores emisión concentración, Chile	38
6.2	Metodología de impactos en salud.....	41
6.2.1	Metodología general.....	41
6.2.2	Funciones concentración-respuesta	43
6.2.3	Proyecciones de población hasta 2050.....	44
6.2.4	Tasas de mortalidad, de años de vida perdidos y de años vividos con discapacidad.....	46
6.2.5	Valoración de la mortalidad prematura evitada.....	46
6.3	Análisis costo-beneficio	52
7	Referencias.....	54

Lista de acrónimos, abreviaciones, unidades y notación

Instituciones

ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Colombia
CALAC+	Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina
CONAF	Corporación Nacional Forestal, Chile
CONAPO	Consejo Nacional de Población, México
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia
DEIS	Departamento de Estadísticas e Información de Salud, Chile
EEA	Agencia Ambiental Europea (<i>European Environment Agency</i>)
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (<i>Environmental Protection Agency</i>)
FMI	Fondo Monetario internacional (IMF por sus siglas en inglés)
IHME	<i>Institute for Health Metrics and Evaluation</i>
ICCT	<i>International Council on Clean Transportation</i>
INE	Instituto Nacional de Estadísticas, Chile
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
MMA	Ministerio del Medio Ambiente, Chile
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés)
OMS	Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés)
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Perú
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México

SEGOB	Secretaría de Gobernación, México
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile

Sustancias

BC	Carbono negro (por sus siglas en inglés)
HC	Hidrocarburos
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
GEI	Gases de efecto invernadero
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoníaco
NO _x	Óxidos de nitrógeno
PM	Material particulado (por sus siglas en inglés)
PM _{2.5}	Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µg/m ³
PM _{10-2.5}	Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 10 y superior a 2.5 µg/m ³
SO ₂	Dióxido de azufre

Abreviaciones

ACB	Análisis Costo-Beneficio
ALRI	Infecciones respiratorias bajas agudas (en inglés <i>Acute lower respiratory infections</i>)
BEV	<i>Battery electric vehicle</i> (o vehículo eléctrico a batería)
BSFC	Consumo de combustible específico del freno (en inglés <i>Brake-specific fuel consumption</i>)
CDMX	Ciudad de México
COPD	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (en inglés <i>Chronic Obstructive Pulmonary Disease</i>)

DALYs	Años de vida ajustados por discapacidad (en inglés <i>Disability-Adjusted Life Years</i>)
DPF	Filtro diésel de partículas (en inglés, <i>Diesel particles filter</i>)
EDOMEX	Estado de México
FAT	Factor de Ajuste transitorio
FD	Factor de deterioro
FE	Factor de emisión
GBD	Carga global de enfermedades (en inglés <i>Global Burden of Disease</i>)
GEI	Gases de efecto invernadero
HEBASH	Herramienta para la evaluación de beneficios ambientales y en salud humana derivados de cambios en la calidad del aire
HEMAQ	Herramienta y análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera (Non-Road)
HETRANS	Herramienta para el cálculo de cambios en emisiones, calidad del aire, impactos en salud y costos asociados a distintos escenarios normativos del sector transporte
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> (o motor de combustión interna)
IHD	Enfermedad Isquémica al corazón (en inglés, <i>Ischemic heart disease</i>)
IPC	Índice de Precios al consumo
IVE	<i>International Vehicle Emissions</i>
LRI	Enfermedades respiratorias bajas (en inglés, <i>lower respiratory infections</i>)
NA	Nivel de actividad
PAF	Fracción atribuible poblacional (en inglés <i>Population Attributable Fraction</i>)
PIB	Producto Interno Bruto
PPP	Poder de paridad de compra (en inglés, <i>Purchasing Power Parity</i>)
RM	Región Metropolitana de Santiago, Chile
SCR	Reducción catalítica selectiva (en inglés, <i>Selective Catalytic Reduction</i>)
SMP	Ajuste a la emisión de PM debido al contenido de azufre
YLD	Años vividos con discapacidad (en inglés <i>Years Lived with Disability</i>)
YLL	Años de vida perdida (en inglés <i>Years of Life Lost</i>)
VP	Valor presente de flujos descontados
VSL	Valor de la vida estadística (en inglés <i>Value of the statistical life</i>)

ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
------	--

Unidades

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramos por metro cúbico
--------------------------	------------------------------

CLP	Pesos Chilenos
-----	----------------

COP	Pesos Colombianos
-----	-------------------

kW	Kilowatt (unidad de potencia)
----	-------------------------------

MM	Millones
----	----------

m ²	Metros cuadrados
----------------	------------------

MXN	Pesos Mexicanos
-----	-----------------

PEN	Soles Peruanos
-----	----------------

tmf	Tonelada métrica fina
-----	-----------------------

USD	Dólares de Estados Unidos
-----	---------------------------

Notación

,	Coma representa separación de miles
---	-------------------------------------

.	Punto representa separación decimal
---	-------------------------------------

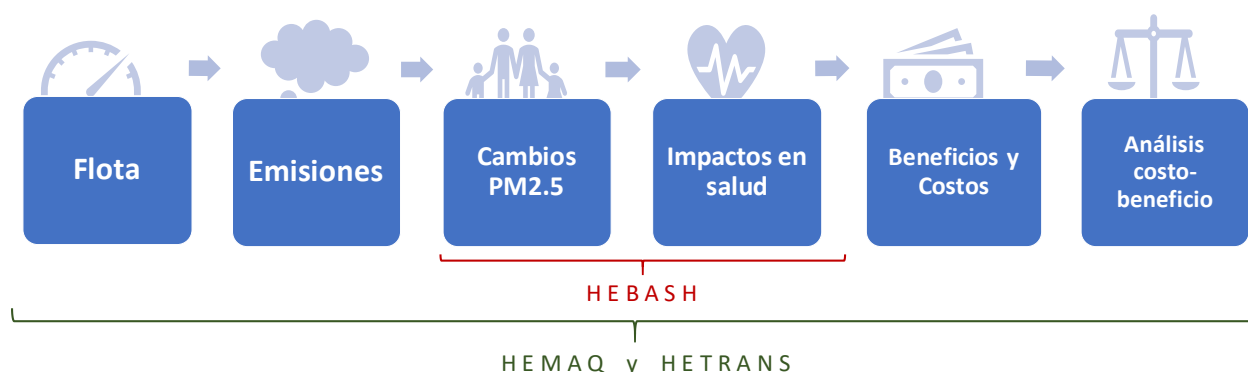
1 Antecedentes

La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), a través de su Programa Global de Cambio Climático, está impulsando la implementación del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+), que busca fomentar la reducción de contaminantes del aire perjudiciales para la salud humana y mitigar el cambio climático. El programa busca también facilitar la creación de capacidades y transferencia de conocimientos.

En el marco del programa CALAC+, se han desarrollado tres herramientas en formato Excel: i) **HEBASH**, que permite, a partir de cambios en emisiones de PM_{2.5}, NO_x y SO₂ o bien a partir de cambios en concentración de PM_{2.5}, evaluar y monetizar impactos en salud; ii) **HEMAQ**, que permite cuantificar emisiones para un escenario de línea base y un escenario normativo, cuantificando cambios en PM_{2.5}, impactos en salud, costos y beneficios asociados a la nueva normativa; y iii) **HETRANS**, que permite la evaluación de escenarios normativos y de electro-movilidad, cuantificando, al igual que HEMAQ, costos y beneficios de los escenarios propuestos.

La Figura 1-1 presenta la metodología general de las herramientas desarrolladas. Como se presenta en la figura, la herramienta HEBASH, además de ser una herramienta independiente, se encuentra incorporada en las herramientas HEMAQ y HETRANS. HEMAQ y HETRANS además incluyen la flota de vehículos para las zonas de análisis, calculan emisiones para para la línea base y escenarios normativos, cuantifican los beneficios y costos asociados a los escenarios definidos por el usuario y presentan indicadores de un análisis costo-beneficio.

Figura 1-1: Esquema metodología herramientas HEBASH, HEMAQ y HETRANS.



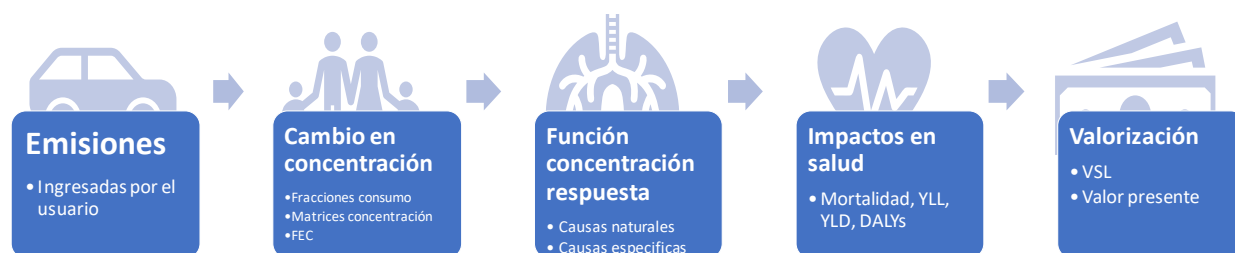
Fuente: Elaboración propia

El presente reporte tiene como objetivo introducir el uso básico y avanzado de la herramienta HEBASH. Las metodologías, fuentes de información y supuestos utilizados, correspondiente al estudio “Análisis del Impacto Económico y Ambiental de las Medidas en las que el Programa CALAC+ Contribuye para Reducir Emisiones de Hollín y Otros Contaminantes” se presenta en la sección 6 de Anexos metodológicos

2 Introducción a HEBASH

La herramienta HEBASH corresponde a la *Herramienta para la evaluación de beneficios ambientales y en salud humana derivados de cambios en la calidad del aire*. La herramienta fue desarrollada en Excel y permite la cuantificación de impactos en salud humana derivados de cambios en emisiones o bien asociados al cumplimiento de una meta de calidad del aire para el $PM_{2.5}$. El esquema metodológico asociado a la reducción de emisiones ingresada por el usuario se presenta en la Figura 2-1, mientras que el esquema metodológico asociado al ingreso de una meta de calidad del aire se presenta en la Figura 2-2.

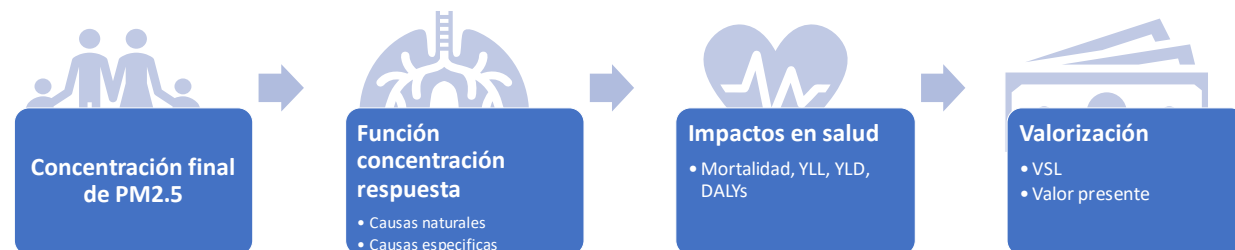
Figura 2-1: Diagrama de la metodología utilizada en HEBASH, cuando el usuario ingresa cambios en las emisiones de contaminantes



Fuente: Elaboración propia

Como se indica en la Figura 2-2, cuando el usuario opta por ingresar una concentración final de $PM_{2.5}$, la metodología no requiere conocer una relación entre emisiones y concentraciones de $PM_{2.5}$, con lo que el cálculo de impactos en salud requiere de menos supuestos para la evaluación. Esta opción permite por ejemplo evaluar una norma de calidad o el nivel de $PM_{2.5}$ recomendado por la OMS ($10 \mu g/m^3$).

Figura 2-2: Diagrama de la metodología utilizada en HEBASH, cuando el usuario ingresa la concentración final de $PM_{2.5}$



Fuente: Elaboración propia

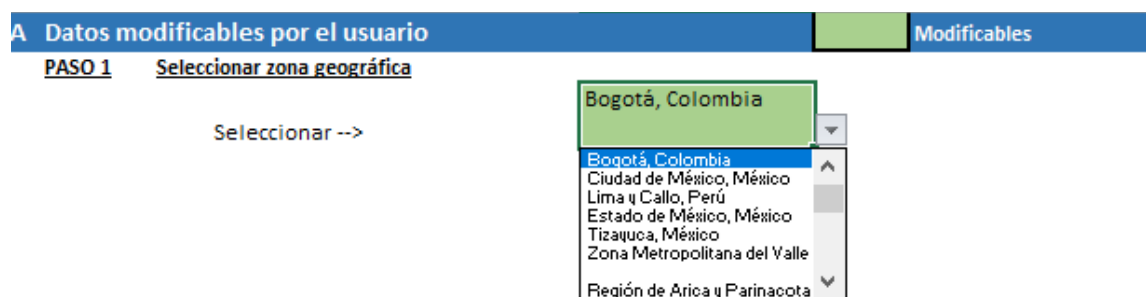
3 Uso básico de HEBASH – hoja “Principal”

El usuario básico de HEBASH requiere interactuar únicamente con la pestaña “Principal” de la planilla de cálculo. En esta hoja el usuario debe ingresar los supuestos de la evaluación (como se describe más adelante) y en la misma pestaña puede ver los resultados de la evaluación. En la sección 0, la Figura 5-1 presenta un diagrama de la interacción de las hojas de cálculo o pestañas en HEBASH y una descripción de estas.

La utilización de la planilla requiere por parte del usuario completar los pasos 1 a 8 indicados en la hoja “Principal”.

El **PASO 1** requiere la selección de la zona geográfica a evaluar. El usuario debe seleccionar el área de interés, de acuerdo con las opciones presentadas en la lista desplegable, como se presenta en Figura 3-1.

Figura 3-1: PASO 1 en HEBASH, selección de la zona de análisis



Luego, en el **PASO 2**, el usuario debe indicar si ingresará la reducción de emisiones de PM2.5, NOx y SO2, o bien ingresará el valor de calidad del aire final, como se presenta en la Figura 3-2.

Figura 3-2: PASO 2 en HEBASH, indicar si se evaluará reducción de emisiones o meta de calidad del aire

PASO 2 Indicar si el usuario ingresará cambios en emisiones o en calidad del aire



En el **PASO 3**, si el usuario indicó en el PASO 2 “Ingreso cambio en emisiones”, debe ingresar para cada año de su interés la reducción de emisiones, en toneladas por año, de PM2.5, NOx y SO2. Si el usuario selecciono en el PASO 2 “Ingreso calidad del aire final”, debe ingresar el nivel de concentración de PM2.5 que desea evaluar para cada año de su interés. La Figura 3-3 presenta el PASO 3 en HEBASH.

Figura 3-3: PASO 3 en HEBASH, indicar si se evaluará reducción de emisiones o meta de calidad del aire

PASO 3 Ingresar reducción de emisiones o calidad del aire final (de acuerdo a selección paso 2)

Reducción de emisiones (toneladas por año)

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PM2.5	ton						60	66	73	80
Nox	ton						1,000	1,100	1,210	1,331
SO2	ton						100	110	121	133

Concentración final PM2.5 (µg/m3)

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PM2.5	µg/m3						10	10	10	10

El **PASO 4** aplica solo en el caso de que se haya seleccionado “Ingreso cambio en emisiones” en el PASO 2. Se requiere que el usuario seleccione la relación entre emisiones y concentraciones a utilizar. La sección 6.1 documenta las distintas opciones metodológicas disponibles. En el caso de Chile, se debe seleccionar la opción “FEC Chile”, mientras que para las demás zonas geográficas se puede seleccionar cualquiera de las tres opciones disponibles, como se presenta en la Figura 3-4.

Figura 3-4: PASO 4 en HEBASH, indicar relación entre emisiones y concentraciones a utilizar

PASO 4 Indicar relación entre emisiones y concentraciones a utilizar (si PASO 2 es "Ingreso cambio en emisiones")

Seleccionar -->

Matriz Em-conc
(Fantke et al. 2017)

Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)
Intake fraction (Apte et al. 2012)
FEC (Chile)

Para Chile, seleccionar "FEC - Chile"

En el **PASO 5**, el usuario debe seleccionar la función de riesgo relativo asociada a la contaminación ambiental a utilizar. Las opciones metodológicas se documentan en la sección 6.2.2. Nótese que siempre se calcula, además de la opción seleccionada para causas específicas, la mortalidad asociada a causas naturales de acuerdo con la metodología de Hoek et al. 2013. En este paso, la opción recomendada es “RR GBD 2019”, ya que incluye los últimos estudios epidemiológicos disponibles. La Figura 3-5 presenta la selección de la función de riesgo relativo en HEBASH.

Figura 3-5: PASO 5 en HEBASH, selección de fuente para cálculo de riesgo relativo.

PASO 5 Seleccionar fuente función riesgo relativo (RR) para causas específicas

RR "causas específicas"

RR GBD 2019

RR GBD 2015-2016
RR GBD 2017
RR GBD 2019
RR Burnett 2018

El **PASO 6** requiere que el usuario seleccione el método de transferencia de VSL a utilizar o bien ingrese otro valor para la valoración económica de la mortalidad estadística evitada. Los métodos disponibles de transferencia de VSL en la herramienta se documentan en la sección 6.2.5 del presente informe. El usuario puede ingresar otro valor de su preferencia o de acuerdo con estudios locales disponibles, el que se proyectará en el tiempo de acuerdo al crecimiento del PIB per cápita real y a la elasticidad del ingreso indicada. La Figura 3-6 presenta la selección o ingreso de datos en HEBASH.

Figura 3-6: PASO 6 en HEBASH, selección de VSL a transferir o ingreso de VSL

PASO 6 Selección de valor de la vida estadística (VSL) a utilizar

VSL	VSL ingresado usuario ▼	
VSL ingresado usuario (USD)	\$ 600,000	USD 2018
Elasticidad ingreso para VSL ingresado	1	

El PASO 7 requiere de la selección de la tasa de descuento por parte del usuario, como se presenta en la Figura 3-7. HEBASH presenta la opción de que usuario ingrese un valor de tasa de descuento o bien que utilice la tasa de descuento “por defecto”, ya sea una tasa constante o decreciente en el tiempo. La sección 6.2.5.3 documenta las tasas de descuento disponibles en HEBASH y la Tabla 6-11 resume las tasas para cada país y las referencias de información.

Figura 3-7: PASO 7 en HEBASH, selección o ingreso de la tasa de descuento.

PASO 7 Indicar tasa de descuento

Seleccionar -->	constante (por defecto)
Si "ingresada usuario" -->	6% Ingresar con símbolo de porcentaje. Ejemplo: 7%

Por último, en el **PASO 8** el usuario debe indicar un horizonte de evaluación a utilizar para la evaluación económica. El año inicial, T0, corresponde al año base de la evaluación, para el cual se debe contar con información de calidad del aire. El año final, TF, corresponde al último año para el que consideraran beneficios y el año para el cálculo de valor presente es el año al que se llevaran los flujos del análisis. En general el año para valor presente corresponde al año en el que se desarrolla la evaluación. La Figura 3-8 presenta el PASO 8 en HEBASH.

Figura 3-8: PASO 8 en HEBASH, indicar horizonte de evaluación

PASO 8 Indicar horizonte temporal evaluación

Año inicial (T0)	2018
Año Final (TF)	2050
Año para cálculo del valor presente	2020

Los resultados que presenta la herramienta son los siguientes:

- Concentración de PM_{2.5} de línea base y escenario indicado por el usuario
- Reducción de concentración de PM_{2.5}
- Mortalidad casusas específicas (opción seleccionada usuario) y causas naturales, atribuibles a la contaminación, para el escenario de línea base y de reducción de emisiones o concentraciones.
- Reducción de mortalidad para casusas específicas (opción seleccionada usuario) y causas naturales.
- Años de vida perdidos (YLL), años vividos con discapacidad (YLD) y años de vida ajustados por discapacidad (DALYs), para escenario de línea base y escenario de reducción de emisiones.
- Reducción de YLL, YLD y DALYs.

- Valor presente de mortalidad evitada durante el periodo de evaluación, de acuerdo con los supuestos indicados por el usuario.

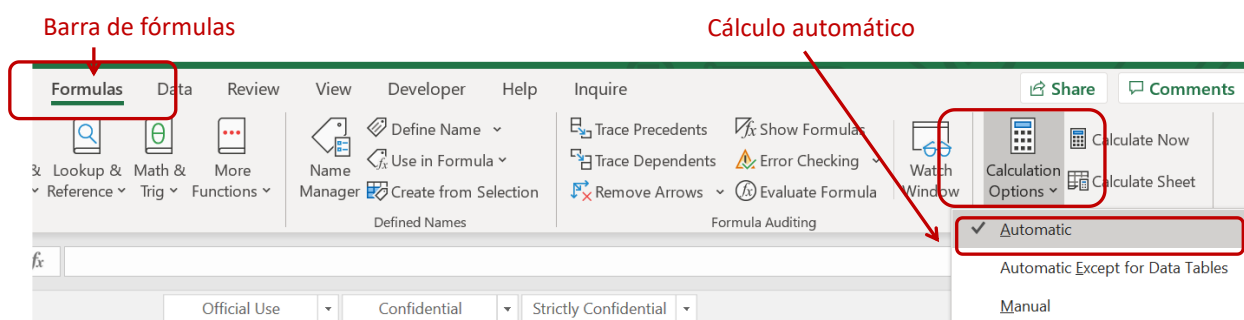
4 Check-lists para el uso de la herramienta

HEBASH es una herramienta sin macros, y su uso no requiere de actualizar los cálculos. De las tres herramientas desarrolladas, HEBASH es la más simple y no requiere mayores “checkeos”.

Sin embargo, antes de utilizar la herramienta se recomienda lo siguiente:

- Crear una copia de trabajo y guardar un respaldo de la planilla original
- Verificar que el cálculo de las fórmulas está en Automático o “Automatic”, como se presenta en la Figura 4-1

Figura 4-1. Configuración de cálculo automático de fórmulas.



- Revisar cada una de las celdas modificables (en verde) y verificar que los supuestos seleccionados en los pasos 1 a 8 son los de interés.
- Al utilizar los gráficos generados, se recomienda indicar el resumen de los supuestos de evaluación, que se encuentran al final de la pestaña principal, como se muestra en la Figura 4-2.

Figura 4-2. Resumen de supuestos utilizados, pestaña Principal.

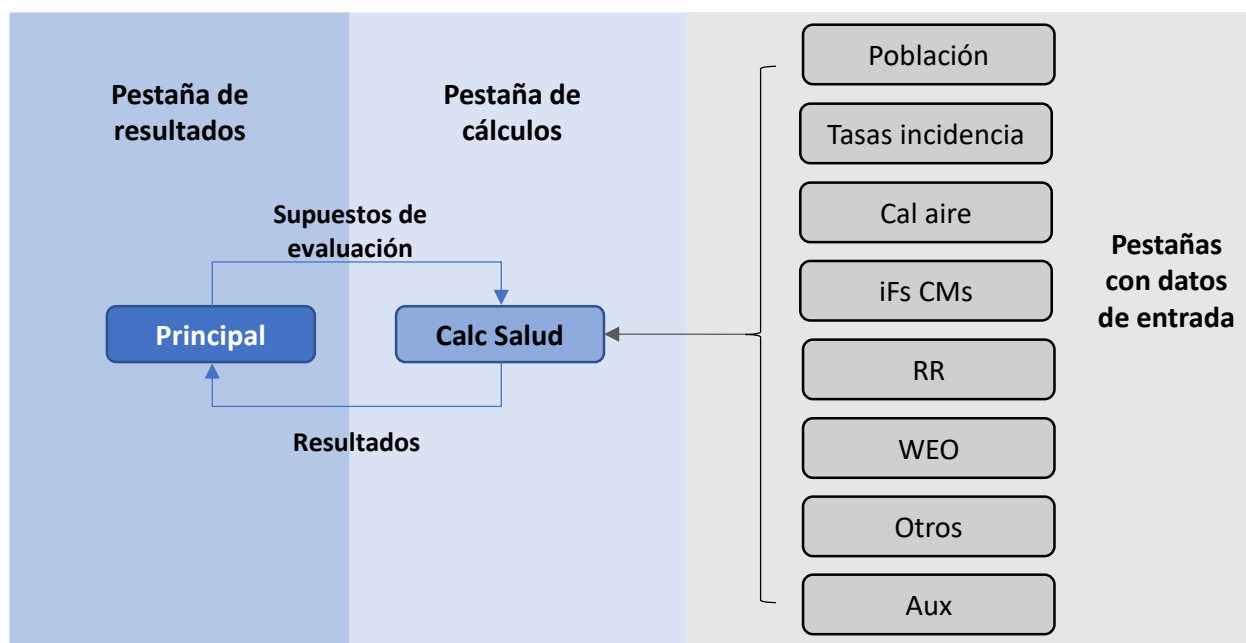
164	C Resumen de supuestos realizados	
165	Zona del análisis	Lima y Callao, Perú
166	Tipo de análisis	Ingreso cambio en emisiones
167	Relación emisiones y concentraciones	Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)
168	Metodología causas específicas	RR GBD 2019
169	Valor de la vida estadística	VSL ingresado usuario
170	Tasa de descuento	variable (por defecto), 8%
171	Horizonte de evaluación	2018-2040
172	Año valor presente	2020

5 Uso avanzado de la HEBASH y preparación de bases de datos

En esta sección se presenta el funcionamiento y estructura de las hojas de cálculo de la herramienta.

la Figura 5-1 presenta un diagrama de la interacción de las hojas de cálculo o pestañas en HEBASH. Las dos pestañas principales corresponden a la pestaña “Principal”, descrita en la sección anterior, y la pestaña “Calc Salud”. HEBASH contiene también pestañas con datos de entrada, las que son utilizadas en “Calc Salud”. Dichas pestañas se describen en las secciones siguientes de este capítulo.

Figura 5-1. Hojas de cálculo o “pestañas” en la herramienta HEBASH



Además de las hojas de cálculo presentadas en la Figura 5-1, HEBASH cuenta con una pestaña llamada “**Leeme**”, en la que se introduce la metodología utilizada en la herramienta y la pestaña “**Datos->**”, que simplemente sirve de separación entre las pestañas de datos y las demás hojas de cálculo en la planilla.

5.1 Hoja “Calc Salud”

La hoja de cálculo “Calc Salud” es la pestaña en que todos los cálculos son llevados a cabo. Como se indica en la Figura 5-2, esta pestaña puede explorarse en vista comprimida o extendida. La vista comprimida es recomendada para explorar rápidamente la hoja de cálculo, mientras que la vista extendida se recomienda para explorar en detalle los cálculos realizados.

Figura 5-2. Vista de hoja “Calc Salud”

1: vista comprimida,
2: vista extendida

Columna con código de entrada de datos, desde otras pestañas

Año de inicio, pestaña "Principal"

1	2	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1		Submódulo	Variable		Código entrada	Código salida	Unidad		Nota		2018	2019	2020
2	A	DATOS DE ENTRADA Lima y Callao, Perú											
3		Calidad del aire de línea base en Lima y Callao, Perú											
4		Contaminante		Código entrada			Unidad				2018	2019	2020
5		PM2.5		lc.pe.pm25			µg/m3				27.4	0.0	0.0
6													
7		Poblacion por tramo de edad proyectada en Lima y Callao, Perú											
8													
9		Edad		Código entrada		Código salida	Unidad	Aux columna ->			5	6	7
34	+	all		lc.pe.pob.all		cápita		Aux fila			2018	2019	2020
35											10,406,084	10,612,528	10,828,988
36		TASAS DE INCIDENCIA BASE											
37		Tasas de mortalidad											
99													
100		Tasas de años de vida perdidos											
162													
163		Tasas de años vividos con discapacidad											
225													

Como se indica también en la Figura 5-2, la columna D contiene los códigos usados para buscar los datos requeridos en las demás pestañas de datos.

En la columna I, se encuentra el año inicial de la evaluación, el que es extraído de la pestaña "Principal" y es ingresado por el usuario (celda F39, nombrada "T0").

La pestaña se divide en 4 módulos, los que se explican a continuación.

5.1.1 Módulo A: Datos de entrada para la ciudad seleccionada.

En este módulo se leen los datos de las distintas pestañas de datos y se realizan cálculos de variables que aplican a ambos escenarios, como es el valor de la vida estadística y la tasa de descuento.

- Calidad del aire de línea base, desde la pestaña "Cal aire"
- Población por tramo de edad, desde la pestaña "Población"
- Tasas de incidencia base de mortalidad, de años de vida perdidos y de años vividos con discapacidad, desde la pestaña "Tasas incidencia". La Figura 5-3 presenta como ejemplo la extracción de datos de la tasa de mortalidad en Perú, para COPD correspondiente al grupo etario de mayores de 25 años, "25+".
- Reducción de emisiones, ingresada por el usuario desde pestaña "Principal"
- Concentración final de PM2.5, ingresada por el usuario desde pestaña "Principal"
- Relación entre emisiones y concentraciones para la ciudad seleccionada por el usuario, desde hoja "iFs CMs"
- Parámetros para el cálculo y proyección de la vida estadística, desde la pestaña "WEO" y "Aux".
- Otros parámetros, incluyendo los parámetros para la aplicación de la metodología Hoek et al. 2013, y la tasa de descuento.

Figura 5-3. Ejemplo de datos de entrada, modulo A, tasas de incidencia.

Valor extraído de pestaña “Tasas incidencia”, utilizando el código en columna D

CH X ✓ fx =INDEX('Tasas incidencia'!\$F\$3:\$F\$1795,MATCH(D40,'Tasas incidencia'!\$A\$3:\$A\$1795,0))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
34		all			lc.pe.pob.all	cápita			10,406,084
35									
36		TASAS DE INCIDENCIA BASE							
37		Tasas de mortalidad							
38		Tasa de incidencia base MORTALIDAD Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica				copd			
39		Edad	Código entrada	Código salida	Unidad			Tasa	
40		25+	Peru.death.copd.25+	Peru.death.copd.25+	Cada 10^5 personas			(\$A\$1795,0))	
41									
42		Tasa de incidencia base MORTALIDAD Cáncer al pulmón				lung			
43		Edad	Código entrada	Código salida	Unidad			Tasa	
44		25+	Peru.death.lung.25+	Peru.death.lung.25+	Cada 10^5 personas			18.37	
45									
46		Tasa de incidencia base MORTALIDAD diabetes mellitus tipo 2				dm			
47		Edad	Código entrada	Código salida	Unidad			Tasa	
48		25+	Peru.death.dm.25+	Peru.death.dm.25+	Cada 10^5 personas			19.47	
49									

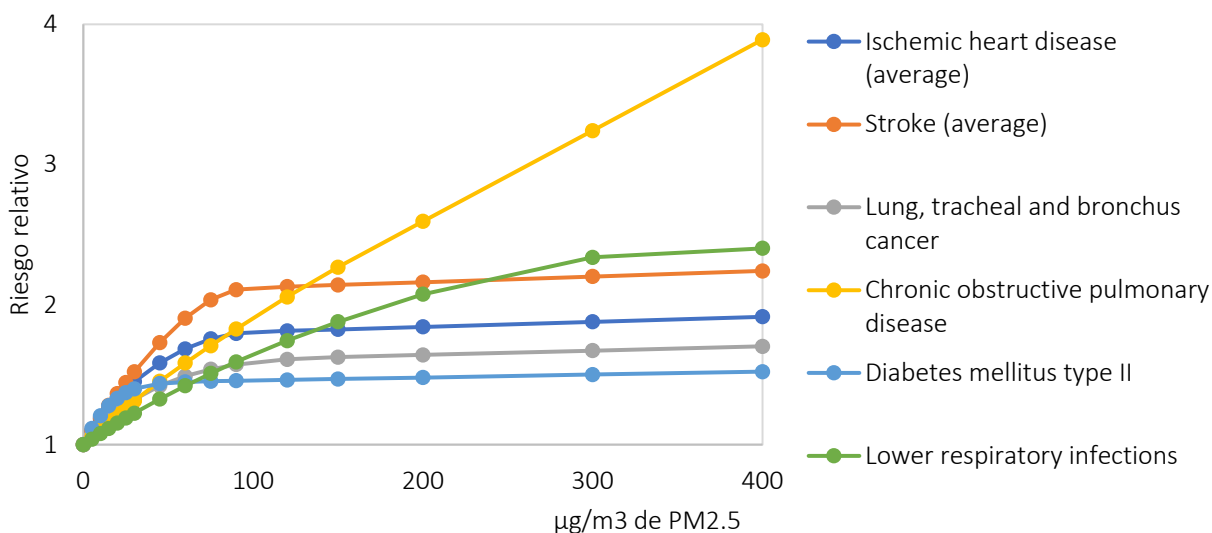
5.1.2 Módulo B: Línea base y Módulo C: Escenario de reducción de emisiones

Los módulos B y C son “espejo” el uno del otro, ya que contienen los mismos cálculos, pero el Módulo B aplica para el escenario línea base, mientras que el D aplica al escenario de reducción de emisiones.

En dichos módulos, el primer paso es determinar la concentración del escenario correspondiente en el tiempo. Dicha concentración corresponde al valor ingresado en la pestaña “Cal aire” (descrita en la sección 5.4), para los años con los que se cuenta con la información. Para los demás años, hasta el 2050, se considera una concentración constante e igual al último año con información disponible.

Las funciones concentración-respuesta provenientes de los estudios *Global Burden of Disease* utilizadas para obtener el riesgo relativo en función de la concentración de PM2.5 (pestaña “RR” descrita en sección 5.6) en la herramienta están tabuladas para un número acotado de concentraciones ambientales. La herramienta interpola entre los valores tabulados, de modo de obtener el riesgo relativo aproximado para cada posible valor de concentración ambiental. La Figura 5-4 presenta a modo de ejemplo las curvas correspondientes al estudio GBD 2019. Los puntos en cada curva corresponden a los valores tabulados incluidos en la herramienta, unidos por líneas, de igual modo como la herramienta aproxima linealmente los valores entre los puntos tabulados.

Figura 5-4. Ejemplo valores tabulados riesgo relativo de funciones concentración respuesta, GBD 2019



Debido a que solo ciertos valores de concentración se encuentran tabulados, para cada nivel de concentración proyectado en el tiempo se debe determinar su valor tabulado superior e inferior más cercanos (ver Figura 5-5). Nótese que los códigos de las variables de salida (columna E) correspondientes a la línea base terminan con un “1”, mientras que los códigos del escenario de reducción terminan con un “2”.

Figura 5-5. Modulo B, pestaña “Calc Salud”, concentración de línea base y valor más cercano alto y bajo.

Código de salida en columna E						Concentraciones tabuladas más cercanas					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
356	B	LINEA BASE					1				
357	Concentración de PM2.5 Lima y Callao, Perú										
358											
359		Variable		Código salida	Unidad	Nota		2018	2019	2020	
360		Concentración LB		lc.pe.conc.1	µg/m3			27.4	27.4	27.4	
361											
362		Concentración -baja			µg/m3	Valor mas cercano		25	25	25	
363		Concentración -alta			µg/m3	inferior y superior		30	30	30	
364											

Una vez determinadas las concentraciones ambientales de línea base, justo con sus valores tabulados más cercanos (superior e inferior), se procede al cálculo del riesgo relativo para cada año, enfermedad y grupo etario. La fórmula de interpolación se presenta en la expresión (5-1).

$$RR_i = RR_{i,alto} - \frac{RR_{i,alto} - RR_{i,bajo}}{C_{i,alto} - C_{i,bajo}} * (C_{i,alto} - C_i) \quad (5-1)$$

Donde:

RR_i corresponde al valor de RR correspondiente al nivel de concentración en la ciudad seleccionada

$RR_{i,alto}$ corresponde al RR para la concentración tabulada más cercana superior

$RR_{i,bajo}$ corresponde al RR para la concentración tabulada más cercana inferior

C_i corresponde al nivel de concentración en la ciudad seleccionada

$C_{i,alto}$ corresponde a la concentración tabulada más cercana superior

$C_{i,bajo}$ corresponde a la concentración tabulada más cercana inferior

La Figura 5-6 presenta la implementación de expresión (5-1) en la herramienta. Se destaca en rojo la fórmula y celda donde se calcula la interpolación. La figura resalta además los códigos de salida en la columna E y las concentraciones tabuladas más cercanas (en verde).

Figura 5-6. Módulo B, pestaña “Calc Salud”, interpolación riesgo relativo entre valores tabulados.

Códigos de salida en columna E **Interpolación RR** **Concentraciones tabuladas más cercanas**

Variable	Código salida	Unidad	Nota	2018
Concentración LB	lc.pe.conc.1	µg/m³		27.4
Concentración -baja		µg/m³	Valor más cercano inferior y superior	25
Concentración -alta		µg/m³		30

Riesgo Relativo - Funciones concentracion respuesta Lima y Callao, Perú		RR GBD 2019		copd	
Fuente (selección usuario)->	Código entrada	Código salida	Unidad	Nota	2018
RR Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	rr.gbd3.copd.25+	lc.pe.rr.gbd3.copd.25+	sin unidad	Interpolado entre RR bajo y alto	

El paso siguiente corresponde a la carga de enfermedades atribuible a la contaminación en la ciudad de interés. Las métricas incluidas en la planilla corresponden a mortalidad, años de vida perdidos (YLL), años vividos con discapacidad (YLD) y años de vida ajustados por discapacidad (DALYs). Dichas métricas se calculan para cada enfermedad y grupo etario correspondiente. La metodología de salud se describe en el apéndice 6.2.

Cabe mencionar que los códigos de salida, en columna E, son utilizados únicamente dentro de la pestaña “Calc Salud”, en el módulo D, donde se comparan los efectos en ambos escenarios. La diferencia de concentración y de impactos en salud corresponde al impacto de la reducción de emisiones o concentraciones analizada.

5.1.3 Módulo D: Comparación de escenarios

El módulo comparación de escenarios recopila los principales resultados de los módulos B y C y alimenta los gráficos de la pestaña principal.

Los códigos de entrada utilizados en este módulo corresponden a los módulos de salida de los módulos B y C. A modo de ejemplo, la Figura 5-7 presenta como en este módulo se recopilan los valores de concentración de cada y escenario y la reducción de PM2.5, correspondiente a la concentración de línea base menos la concentración en el escenario de reducción.

Figura 5-7. Ejemplo módulo D, concentración de PM2.5

Códigos de entrada en columna D **Ciudad en análisis** **Reducción de concentración**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
938	D	COMPARACION ESCENARIOS (línea base - escenario reduccion emisiones) Lima y Callao, Perú							
939		Calidad del aire							
941				Código entrada	Unidad				2018
942				PM2.5 línea base	lc.pe.conc.1	µg/m3			27
943				PM2.5 escenario reducción en lc.pe.conc.2	lc.pe.conc.2	µg/m3			27
944				Reducción PM2.5				=I942-I943	

En este módulo se recopilan también los principales resultados de carga de enfermedades, de acuerdo con la metodología seleccionada por el usuario en la pestaña principal (**PASO 5**), y se valorizan los casos de mortalidad evitada, utilizando el valor de la vida estadística seleccionado por el usuario (**PASO 6**).

La mortalidad evitada valorizada para cada año del periodo de evaluación (indicado en el **PASO 8**) se lleva a valor presente, utilizando una tasa variable y constante. En la pestaña principal se presenta el indicador de valor presente de acuerdo con la selección de tasa de descuento realizada por el usuario (en el **PASO 7**). La Figura 5-8 presenta la implementación de la valoración de la mortalidad evitada, resaltando la metodología utilizada en el análisis (azul), el valor presente utilizando una tasa de descuento constante y variable (verde) y el valor presente de acuerdo a la selección de la tasa de descuento indicada por el usuario (rojo), que en este ejemplo corresponde a una tasa variable.

Figura 5-8. Ejemplo módulo D, valorización de mortalidad evitada

Metodologías utilizadas **Valor presente mortalidad evitada**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1005		Valorización mortalidad evitada Lima y Callao, Perú								
1006		Valorización mortalidad evitada, causas específicas, RR GBD 2019								
1007					Unidad				2018	2019
1008				Valorización mortalidad evitada	2018 USD				\$	-
1009										
1010				Valorización mortalidad evitada, causas naturales	2018 USD				\$	-
1011										
1012										
1013				Valor presente mortalidad evitada 2020, flujos 2018-2040, utilizando TASA CONSTANTE	Unidad					
1014				Valor presente 2020, RR GBD 2019	Millones de 2018 USD				\$	92
1015				Valor presente 2020, causas naturales	Millones de 2018 USD				\$	294
1016										
1017				Valor presente mortalidad evitada 2020, flujos 2018-2040, utilizando TASA VARIABLE	Unidad					
1018										
1019				Flujos descontados, RR GBD 2019	Millones de 2018 USD				\$	-
1020				Flujos descontados, causas naturales	Millones de 2018 USD				\$	-
1021										
1022										
1023				Valor presente 2020, RR GBD 2019	Unidad					
1024				Valor presente 2020, causas naturales	Millones de 2018 USD				\$	112
1025					Millones de 2018 USD				\$	354
1026				Valor presente, tasa descuento: variable (por defecto)						
1027					Unidad					
1028				Valor presente 2020, RR GBD 2019	Millones de 2018 USD				\$	112
1029				Valor presente 2020, causas naturales	Millones de 2018 USD				\$	354

5.2 Hoja “Población”

La hoja “Población” es una pestaña de datos, la que es utilizada en la pestaña “Calc Salud”. Esta pestaña contiene la población desagregada en tramos de edad, en grupos de 5 años, a nivel de ciudad y proyectada hasta el año 2050. La Figura 5-9 presenta la estructura de esta hoja de cálculo, resaltando la columna A, que contiene el código utilizado para leer los datos desde la hoja “Calc Salud”. El código de la columna A se compone por el código de ciudad, el código de la serie de datos (en este caso población) y el rango etario correspondiente.

Figura 5-9. Pestaña “Poblacion”.

Código utilizado en Calc Salud

Código ciudad

Rango edad, cada 5 años, formato edad inicial – edad final

Población proyectada

	Poblacion proyectada hasta 2050											
2	Codigo	Nombre de la serie	Codigo ciudad	Ciudad	Pais	Rango edad	2014	2015	2016	2017	2018	2019
3	lc.pe.pob.0-4	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	0-4				758069	759976	7618
4	lc.pe.pob.5-9	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	5-9				774611	756206	7382
5	lc.pe.pob.10-14	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	10-14				751994	750824	7496
6	lc.pe.pob.15-19	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	15-19				792442	779238	7662
7	lc.pe.pob.20-24	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	20-24				945956	948239	9505
8	lc.pe.pob.25-29	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	25-29				914333	937545	9613
9	lc.pe.pob.30-34	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	30-34				850668	876177	9024
10	lc.pe.pob.35-39	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	35-39				796215	824465	8537
11	lc.pe.pob.40-44	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	40-44				732127	757269	7832
12	lc.pe.pob.45-49	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	45-49				625904	643899	6624
13	lc.pe.pob.50-54	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	50-54				544872	565781	5874
14	lc.pe.pob.55-59	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	55-59				461786	483138	5054
15	lc.pe.pob.60-64	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	60-64				385183	399079	4134
16	lc.pe.pob.65-69	Poblacion	lc.pe	Lima	Peru	65-69				297390	315518	3347

Leeme

Principal

Calc Salud

Aux

Datos->

Poblacion

Tasas incidencia

Cal aire

iFs CMs ...

Cabe mencionar que el formato de los rangos de edad es “edad final-edad inicial”, excepto para el último tramo, el que utiliza el nombre “95+”. Los códigos deben siempre ser: 0-4, 5-9, 10-14, 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79, 80-84, 85-89, 90-94, 95+.

Los códigos de las ciudades son definidos en la pestaña “Aux” y se presentan en la Figura 5-10.

Figura 5-10. Códigos de ciudades definidos en pestaña “Aux”.

	A	B	C	D
1	Zona geográfica			
2	Nombre	Codigo	Pais 1	Pais 2
3	Region Metropolitana, Chile	rm.ch	Chile	Chile
4	Bogotá, Colombia	bo.co	Colombia	Colombia
5	Ciudad de México, México	cdmx.me	México	Mexico
6	Lima y Callao, Perú	lc.pe	Peru	Peru
7	Estado de México, México	em.me	Mexico City	Mexico
8	Tizayuca, México	tz.me	Mexico City	Mexico
9	Zona Metropolitana del Valle de México	zmvm.me	Mexico City	Mexico
10				
11	Región de Arica y Parinacota, Chile	ap.ch	Chile	Chile
12	Región de Tarapacá, Chile	ta.ch	Chile	Chile
13	Región de Antofagasta, Chile	an.ch	Chile	Chile
14	Región de Atacama, Chile	at.ch	Chile	Chile
15	Región de Coquimbo, Chile	co.ch	Chile	Chile
16	Región de Valparaíso, Chile	va.ch	Chile	Chile
17	Región de O'Higgins, Chile	oh.ch	Chile	Chile
18	Región del Maule, Chile	ml.ch	Chile	Chile
19	Region del Ñuble, Chile	nu.ch	Chile	Chile
20	Región del Biobío, Chile	bb.ch	Chile	Chile
21	Región de La Araucanía, Chile	ar.ch	Chile	Chile
22	Región de Los Ríos, Chile	lr.ch	Chile	Chile
23	Región de Los Lagos, Chile	ll.ch	Chile	Chile
24	Región de Aisén, Chile	ai.ch	Chile	Chile
25	Región de Magallanes, Chile	mg.ch	Chile	Chile

5.2.1 Preparación de datos para hoja “Población”

5.3 Hoja “Tasas incidencia”

La pestaña “Tasas incidencia” contiene las tasas de incidencia base de mortalidad (“death”), años de vida perdidos (yld), años vividos con discapacidad (yld) y años de vida ajustados por discapacidad (dalys).

Las enfermedades y sus códigos utilizados en la herramienta se indican en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Códigos y nombres de enfermedades incluidas en la herramienta

Código	Nombre español	Nombre ingles (original)
ihd	Enfermedad coronaria	Ischemic heart disease
Strk	Derrame cerebral	Stroke
LRI	Infecciones respiratorias bajas	lower respiratory infections
Lung	Cáncer al pulmón	Tracheal, bronchus, and lung cancer
COPD	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
dm	Diabetes mellitus tipo 2	Diabetes mellitus type 2

Además de los códigos asociados a cada enfermedad, de utilizan códigos para las métricas de salud y rangos de edad al que corresponde cada tasa. La Tabla 5-2 resume los códigos utilizados la hoja “Tasas incidencia” de la herramienta.

Tabla 5-2. Códigos utilizados la hoja “Tasas incidencia” de la herramienta

Parámetro	Código
Códigos métricas salud	Death, yll, yld, dalys
Códigos enfermedades	COPD, dm, IHD, Lesiones, LRI, lung, nat, strk, Todas
Códigos de edad	0-4, 5-9, 10-14, 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79, 80-84, 85-89, 90-94, 95+

La Figura 5-11 presenta la vista de la pestaña “Tasas incidencia”, resaltando la primera columna, con el código asociado a la fila de datos, leída desde la pestaña “Calc Salud” y la última columna, correspondiente al valor de la tasa de incidencia.

Figura 5-11. Vista la pestaña “Tasas incidencia”.

Código: país.metric.enfermedad.rango_edad **Tasa de incidencia, cada 10⁵ habitantes**

	codigo	location_1	Metrica	Enfermedad	edad	valor
2	Chile.dalys.COPD.25-29	Chile	dalys	COPD	25-29	53.08908425
3	Chile.dalys.COPD.30-34	Chile	dalys	COPD	30-34	73.10626509
4	Chile.dalys.COPD.35-39	Chile	dalys	COPD	35-39	111.0079921
5	Chile.dalys.COPD.40-44	Chile	dalys	COPD	40-44	170.0074118
6	Chile.dalys.COPD.45-49	Chile	dalys	COPD	45-49	256.7708812
7	Chile.dalys.COPD.50-54	Chile	dalys	COPD	50-54	412.959556
8	Chile.dalys.COPD.55-59	Chile	dalys	COPD	55-59	652.6362027

Los datos cargados actualmente en la herramienta provienen de información específica para Lima y Callao en el caso de Perú, y proveniente de datos del IHME en el caso de los demás países.

5.3.1 Preparación de datos para hoja “Tasas de incidencia”

Los datos precargados en la hoja “Tasas de incidencia” pueden actualizarse utilizando nueva información disponible. También es posible agregar los datos para un nuevo país o zona de interés.

Los datos deben pre procesarse fuera de la herramienta, de forma tal de contener la estructura y campos requeridos para su uso en la herramienta.

La estructura de datos considera el uso de los códigos resumidos en la Tabla 5-2 y las siguientes columnas:

- **Código.** Correspondiente al nombre del país, seguido de la métrica a la que aplican los datos (death, yll, yld o dalys), código de la enfermedad (COPD, dm, IHD, Lesiones, LRI, lung, nat, strk, Todas) y rango etario correspondiente (0-4, 5-9, 10-14, 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79, 80-84, 85-89, 90-94, 95+).

- **location_name.** Corresponde al nombre del país al que aplican los datos. Dicho nombre debe coincidir con el nombre indicado en **País 2**, en la hoja “Aux”, como se indica en la Figura 5-12.

Figura 5-12. Vista de pestaña “Aux”, en que “País 2” debe corresponder al nombre en columna “location_name”.

Nombre país. Debe corresponder con el nombre en la pestaña “Tasas incidencia”



	A	B	C	D
1	Zona geográfica			
2	Nombre	Codigo	País 1	País 2
3	Region Metropolitana, Chile	rm.ch	Chile	Chile
4	Bogotá, Colombia	bo.co	Colombia	Colombia
5	Ciudad de México, México	cdmx.me	México	Mexico
6	Lima y Callao, Perú	lc.pe	Peru	Peru
7	Estado de México, México	em.me	Mexico City	Mexico
8	Tizayuca, México	tz.me	Mexico City	Mexico
9	Zona Metropolitana del Valle de México	zmvm.me	Mexico City	Mexico

- **Métrica.** Esta columna indica si la tasa corresponde a mortalidad (“death”), años de vida perdidos (yll), años vividos con discapacidad (yld) o años de vida ajustados por discapacidad (dalys).
- **Enfermedad.** Esta columna indica a que enfermedad corresponde la tasa de incidencia. Las enfermedades incluidas en la herramienta y sus códigos se indican en la Tabla 5-1.
- **Edad.** Corresponde a los grupos de edad para lo que se tabulan las tasas de incidencia. Los grupos de edad corresponden a tramos de 5 años, además del último tramo, que cubre a los mayores de 95 años. Los códigos para cada grupo se detallan en la Tabla 5-1.
- **Valor.** Corresponde al valor de la tasa de incidencia base para cada País (o ciudad=, métrica, enfermedad y rango etario. Las tasas deben estar expresadas cada 10^5 habitantes.
- **Nota.** Esta columna es opcional. Puede utilizarse para agregar notas de interés para el usuario de la herramienta.

Al cargar un nuevo set de información, **se recomienda insertar los nuevos datos entremedio de los datos ya cargados**, en vez de agregarlos al final de la pestaña. Insertar los datos entre medio permitirá que todas las referencias a esta pestaña de datos se actualicen, con lo que no será necesario modificar las fórmulas (en la pestaña “Calc Salud”) que acceden a estos datos.

La Figura 5-13. Ejemplo de inserción de datos en pestaña “Tasas de incidencia”. Figura 5-13 presenta como ejemplo la inserción de nuevos datos en la fila 1141, al final de los datos cargados para Ciudad de México y antes de los datos cargados para Perú.

Figura 5-13. Ejemplo de inserción de datos en pestaña “Tasas de incidencia”.

The screenshot shows the Excel 'Paste Special' menu. The 'Insert Copied Cells' option is highlighted with a red box. A red arrow points from the 'Paste Special' button in the ribbon to the menu. The background shows a table with columns for country, death type, age group, and deaths.

Country	Death Type	Age Group	Deaths
Peru	death	25+	7.30046137
Peru	death	25-29	3.00365877
Peru	death	30-34	3.3480286
Peru	death	35-39	5.44685529

La pestaña “Cal aire” contiene los datos de concentración ambiental de PM2.5 para las ciudades con dato precargados en la herramienta. En esta pestaña el usuario puede modificar los datos o agregar nueva información disponible, hasta el año 2023. La concentración ingresada debe corresponder a la métrica anual de PM2.5, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 5-14. Vista pestaña “Cal aire”.

5.4.1 Preparación de datos para hoja “Cal aire”

23

En el caso de que se desee incorporar una nueva ciudad o zona geográfica, se recomienda que el usuario ingrese los datos insertando la o las nuevas filas de datos entre medio de los datos precargados. De esta forma, las fórmulas que leen y utilizan los datos no necesitarán ser actualizadas.

El usuario debe completar los campos en las columnas A a D e ingresar los datos correspondientes en las columnas de datos (columna E en adelante).

Las columnas y su descripción de indican a continuación:

- **Código.** Corresponde a la unión del código de la zona de análisis y “.pm2.5”, como se indica en la Figura 5-15. Vista pestaña “Cal aire”, columna A, asociada al código de la fila de datos.

Figura 5-15. Vista pestaña “Cal aire”, columna A, asociada al código de la fila de datos.

A	B	C	D
Concentración anual de material particulado fino			
Codigo	Series	codigo z	nombre zona
=C3&".pm2.5"	PM2.5 anual	ai.ch	Región de Aisén, Chile
an.ch.pm2.5	PM2.5 anual	an.ch	Región de Antofagasta, Chile

- **Series.** Indica el nombre de la serie de datos. Este campo es solo para orientar al usuario y no es utilizado en cálculos, por lo que es opcional.
- **código zona.** Corresponde al código de la zona geográfica. Debe corresponder con el código indicado en la pestaña Aux. Si se ingresa una nueva zona de análisis, debe modificarse también la hoja Aux, de modo de incorporar los nuevos datos. La Figura 5-16 presenta la vista de la pestaña Aux. **La pestaña Aux requiere ser modificada únicamente si se desea agregar una nueva ciudad de análisis.**

Figura 5-16. Vista pestaña Aux, resaltando el código de la zona geográfica.

Código zona geográfica, pestaña Aux

A	B	C	D
1 Zona geográfica			
2 Nombre	Codigo	Pais 1	Pais 2
3 Region Metropolitana, Chile	rm.ch	Chile	Chile
4 Bogotá, Colombia	bo.co	Colombia	Colombia
5 Ciudad de México, México	cdmx.me	México	México
6 Lima y Callao, Perú	lc.pe	Peru	Peru
7 Estado de México, México	em.me	Mexico City	Mexico
8 Tizayuca, México	tz.me	Mexico City	Mexico
9 Zona Metropolitana del Valle de México	zvm.me	Mexico City	Mexico

- **Nombre zona.** En la columna D se indica el nombre de la zona de análisis. Esta columna no se utiliza para cálculos, por lo que es solamente indicativa para el usuario de la herramienta. De todas formas, en caso de agregar una nueva zona de análisis, se recomienda escribir el nombre la zona de análisis en todas las pestañas de cálculo exactamente igual a como se escribe en la pestaña Aux.

- **Columnas 2016 a 2023 (E a L).** Corresponde al año para el que debe ingresar el valor de calidad del aire. Se debe contar con al menos 1 dato de calidad del aire, correspondiente al año de inicio de la evaluación (celda F39, pestaña Principal, llamada T0).

5.5 Hoja “iFs CMs”

La hoja “iFs CMs” contiene los valores asociados a las fracciones de consumo (*intake fractions*) y matrices CM, que relacionan emisiones y concentración ambiental de PM2.5. La metodología correspondiente se describe en la sección 6.1 de Anexos metodológicos.

La Figura 5-17 presenta una vista a de la hoja de cálculo. Como se indica en la figura, la columna A corresponde al código de datos y las columnas F y G corresponden a los datos asociados a las opciones “Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)” y “Intake fraction (Apte et al. 2012)” (PASO 4, pestaña Principal”).

Figura 5-17. Vista pestaña “iFs CMs”.

A	B	C	D	E	F	G
Intake fractions y matrices emision-concetración, Fantke 2017 y Apte 2012						
Codigo ciudad	Ciudad 1	Ciudad	País	CM -outdoor Urban [µg/m3 per kg/d]	CM -outdoor Urban [µg/m3 per ton/year]	iF urban (outdoor - Apte) [ppm]
rm.ch	Santiago (Chile)	Santiago	Chile	0.000569699	0.001560819	39.2
zmvm.me	Mexico (Mexico)	Zona Metropolitana	Mexico	0.000750085	0.002055028	145
em.me	Estado de México, México				0.00361363	145
tz.me	Tzayuca, México				0.372166002	145
cdmx.me					0.004826386	145
lc.pe	Lima (Peru)	Lima	Peru	0.00052304	0.001432983	56.3
bo.co	Bogota (Colombia)	Bogota	Colombia	0.000853362	0.002337977	75.2

Las columnas en la hoja “iFs CMs” se describen a continuación:

- **Codigo ciudad.** Corresponde al código de la ciudad de análisis. Debe coincidir con el código indicado en la hoja Aux. Esta columna corresponde a un campo obligatorio.
- **Ciudad 1.** Esta columna corresponde al nombre la zona geográfica. Corresponde al nombre utilizado en el estudio de donde provienen los datos y no se utiliza para cálculos, sino que simplemente para facilitar el entendimiento de la planilla de cálculo. Esta planilla corresponde a un campo opcional.
- **Ciudad.** Corresponde al nombre de la zona geográfica, de acuerdo con las definiciones usadas en la herramienta. Esta planilla corresponde a un campo opcional, ya que lo relevante es indicar el código en la columna A (llamada Codigo ciudad).
- **País.** Corresponde al país en que se ubica la zona de análisis. No se utiliza para los cálculos, por lo que corresponde a un campo opcional.
- **CM -outdoor Urban [µg/m3 per kg/d].** Corresponde al elemento diagonal de la matriz de concentración para la zona de análisis del estudio (Fantke et al. 2017)
- **CM -outdoor Urban [µg/m3 per ton/year].** Corresponde al campo anterior, multiplicado por 1000/365, correspondiente a la conversión de unidades.
- **iF urban (outdoor - Apte) [ppm].** Corresponde al valor de “intake fraction” o fracción de consumo de acuerdo al estudio.
- **Pop [capita].** Corresponde a la población utilizada en los estudios originales.

- **Poblacion 2015.**Corresponde a la población del año 2015, desagregada según las zonas geográficas utilizadas en la herramienta.

5.5.1 Preparación de datos para hoja “iFs CM”

La agregación de datos a esta pestaña es requerida únicamente en el caso de que se agregue una ciudad adicional al análisis. Se requiere que la ciudad a incluir se encuentre dentro de las ciudades incluidas en los estudios originales.

Para agregar datos, se deben insertar las filas de datos necesarias entre medio de las filas actualmente con información. La inserción entre medio de los datos ya cargados permite que las fórmulas que referencian a estos datos se actualicen automáticamente.

Los campos “Pop [capita]” y “Poblacion 2015” son opcionales, y no requieren que el usuario los complete en caso de agregar una nueva ciudad. Estos valores solo se usan para México, ya que se contaba con información solo para la Zona Metropolitana del Valle de México, la que fue escalada en función de la población, para incluir la desagregación geográfica de Estado de México, Tizayuca y Ciudad de México.

5.6 Hoja “RR”

La hoja “RR” contiene los valores de riesgo relativo asociados las distintas enfermedades, rangos etarios y niveles de concentración de PM2.5, de acuerdo con distintas metodologías (o funciones concentración-respuesta) incluidas en la herramienta, las que se presentan en la siguiente tabla, junto con sus códigos.

Tabla 5-3. Metodologías funciones concentración-respuesta incluidas en la herramienta

Fuente metodología	código
Burnett et al 2018	bur
GBD 2017	gbd2
GBD-2015-2016	gbd1
GBD 2019	gbd3

Nótese que el usuario indica en la hoja principal, en el **paso 5**, cual es la metodología que se utilizará en el análisis. Los códigos de cada metodología y de la metodología seleccionada por el usuario se encuentran en la pestaña “Aux”, como se presenta en la siguiente figura.

Figura 5-18. Vista pestaña Aux, funciones concentración-respuesta y sus códigos.

Pestaña Aux, metodología de función concentración-respuesta seleccionada.

	A	B
54		
55	Mortalidad causas específicas	
56	RR GBD 2015-2016	gbd1
57	RR GBD 2017	gbd2
58	RR GBD 2019	gbd3
59	RR Burnett 2018	bur
60	Seleccionado	gbd3

Esta pestaña de datos contiene en la columna A los códigos que son leídos desde la pestaña Calc Salud. Los códigos indican la serie de datos (en este caso riesgo relativo o “rr”), el código de la metodología, el código de la enfermedad y el código del rango de edad al que aplica el riesgo relativo. La Figura 5-19 presenta una vista de esta pestaña.

Figura 5-19. Vista pestaña RR

Código de datos

Concentración de PM2.5 (µg/m3)

Riesgo relativo

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Riesgo relativo, funciones concentración respuesta							
2	Código	Series	Código fi	Fuente	Enferme	Rango ec	PM2.5	Valor
3	rr.gbd1.COPD.25+.150	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	150	1.8564309
4	rr.gbd1.COPD.25+.120	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	120	1.7448994
5	rr.gbd1.COPD.25+.90	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	90	1.6209412
6	rr.gbd1.COPD.25+.75	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	75	1.5527726
7	rr.gbd1.COPD.25+.60	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	60	1.4789635
8	rr.gbd1.COPD.25+.50	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	50	1.4255972
9	rr.gbd1.COPD.25+.45	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	45	1.3972936
10	rr.gbd1.COPD.25+.40	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	40	1.3676542
11	rr.gbd1.COPD.25+.35	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	35	1.3364012
12	rr.gbd1.COPD.25+.30	RR	gbd1	GBD-2015-2016	COPD	25+	30	1.3031393

Los códigos asociados a las enfermedades y grupos de edad se encuentran en la Tabla 5-2, en la descripción de la hoja de cálculo “Tasas incidencia”.

5.6.1 Preparación de datos para hoja “RR”

La pestaña de cálculo “RR” en general es una pestaña que no requerirá modificaciones, ya que las metodologías incluidas están fijas, en el sentido de que los valores de riesgo relativo ya se encuentran definidos. Sin embargo, la pestaña podría modificarse para agregar nuevas metodologías de funciones concentración-respuesta adicionales, que apliquen a la mismas enfermedades y grupos etarios ya incluidos, o bien a otras enfermedades y rangos etarios.

Al igual que para la modificación de las demás hojas de datos, se recomienda insertar los nuevos datos entre medio de los datos ya cargados.

Las modificaciones requeridas para la adición de una nueva metodología son múltiples, incluyendo cálculos adicionales (en caso de aplicar a una nueva enfermedad o rango etario).

En caso de agregar una nueva enfermedad y/o rango etario, deberán realizarse las siguientes modificaciones:

- Agregar las tasas de incidencia correspondientes en la pestaña “Tasas incidencia”
- Agregar la población correspondiente al rango etario en la pestaña “Población”
- Agregar el nombre y código asociado a la nueva metodología en la pestaña “Aux”
- Agregar los cálculos correspondientes en la pestaña “Calc Salud”.

5.7 Hoja WEO

La pestaña de datos WEO contiene datos económicos provenientes del *World Economic Outlook database*. Dichos parámetros económicos son utilizados para la protección del valor de la vida estadística (VSL), el que a su vez es utilizado para la cuantificación de la mortalidad evitada. La metodología asociada al cálculo del VSL se presenta en la 6.2.5 de anexos.

La pestaña contiene datos correspondientes al producto interno bruto (PIB) per cápita en dólares internacionales, al deflactor del PIB y el cambio en el PIB per cápita. La Figura 5-20 presenta una vista de esta hoja de cálculo.

Figura 5-20. Vista pestaña de datos WEO.

Código de datos

Descriptores de datos

Columnas de datos

1	International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2020 & October 2019, https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/02/weodata/index.aspx									
2	Código	Country	Subject Descriptor	Units	Scale	Country/Series	2011	2012	2013	2014
8	Colombia.pib.cambio	pib.cambio	Colombia	Gross domestic product per capita, constant purchasing power parity; percent	Source: National Statistics Office Latest actual data: 2019 National					
9	Mexico.pib.cambio	pib.cambio	Mexico	Gross domestic product per capita, constant purchasing power parity; percent	Source: National Statistics Office Latest actual data: 2019 National					
20	Peru.pib.cambio	pib.cambio	Peru	Gross domestic product per capita, constant purchasing power parity; percent	Source: Central Bank Latest actual data: 2019 National account					
21	International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, October 2019									
22	Chile.pib.def	pib.def	Chile	Gross domestic product, deflator	Index		See notes for: Gross domestic product, constant prices (Natio			
23		ppp.rate	Chile	Implied PPP conversion rate	National currency per current inte	See notes for: Gross domestic product, current prices (Natio				
24	Colombia.pib.def	pib.def	Colombia	Gross domestic product, deflator	Index		See notes for: Gross domestic product, constant prices (Natio			
25		ppp.rate	Colombia	Implied PPP conversion rate	National currency per current inte	See notes for: Gross domestic product, current prices (Natio				
26	Mexico.pib.def	pib.def	Mexico	Gross domestic product, deflator	Index		See notes for: Gross domestic product, constant prices (Natio			
27		ppp.rate	Mexico	Implied PPP conversion rate	National currency per current inte	See notes for: Gross domestic product, current prices (Natio				
28	Peru.pib.def	pib.def	Peru	Gross domestic product, deflator	Index		See notes for: Gross domestic product, constant prices (Natio			
29		ppp.rate	Peru	Implied PPP conversion rate	National currency per current inte	See notes for: Gross domestic product, current prices (Natio				

Como se resalta en la Figura 5-20, la columna A contiene el código de los datos asociado a la fila de datos, los que son utilizados para leer los datos desde la pestaña “Calc Salud”. Los valores asociados a cada serie se encuentran a partir de la columna G. Las columnas D y E contienen descriptores de los datos.

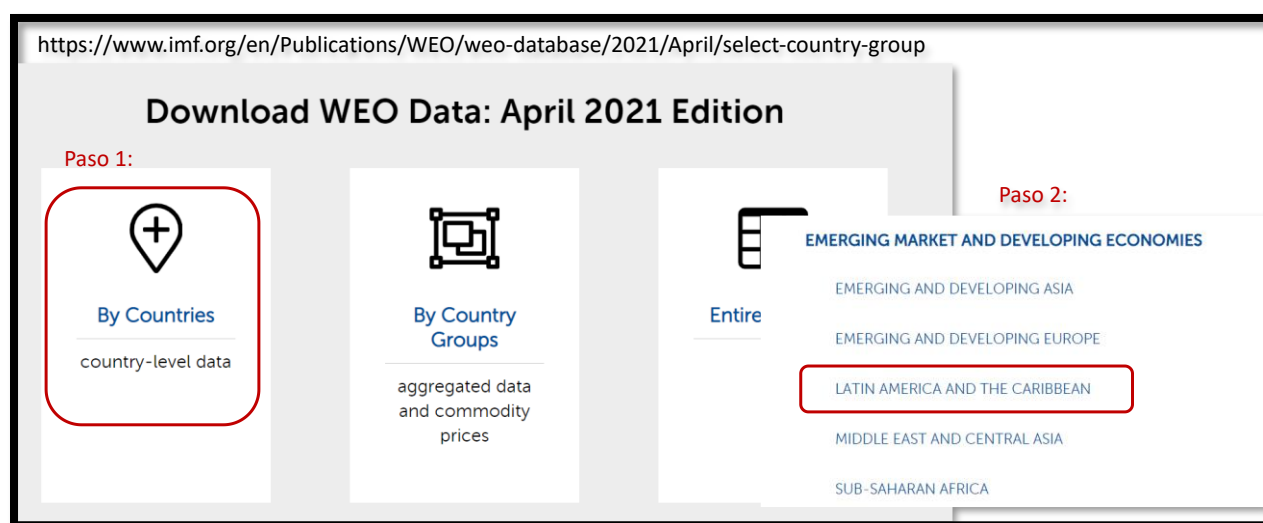
La pestaña también contiene datos económicos adicionales que no son utilizados en los cálculos, pero que pueden proveer de información relevante al usuario.

5.7.1 Preparación de datos para hoja “WEO”

Los indicadores económicos que hacen parte del WEO son actualizados periódicamente en el enlace <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/02/weodata/index.aspx>.

El usuario de la herramienta puede revisar si se encuentran disponibles actualizaciones de los datos. Por ejemplo, a la fecha de este reporte, se encuentra disponible una actualización de datos, con fecha de abril de 2021. El usuario puede explorar los datos según país (“By countries”) y luego seleccionar la opción “Latin America and the Caribbean”, como se presenta en la figura siguiente.

Figura 5-21. Vista a selección de datos correspondientes al World Economic Outlook, del IMF.



El usuario debe seleccionar las siguientes series dentro de “National Accounts” para cada país de interés. Las series relevantes se presentan en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Series requeridas económicas utilizadas en la herramienta.

Serie	Subserie1	Subserie2	Subserie3
Gross domestic product	per capita	constant prices/PPP	percent change
	total	deflator	Index
	per capita	constant prices/PPP	2011 international dollar

La selección de las series, desde el link indicado previamente, se presenta en la Figura 5-22.

Figura 5-22. Selección de series de interés de WEO.



El usuario debe descargar los datos y luego copiarlos en las filas y columnas correspondientes en la hoja “WEO”.

En el caso de que la serie correspondiente a “Gross domestic product per capita, constant prices” haya cambiado el año de referencia, como es el caso en la última actualización de los datos del WEO, se deberá modificar también la formula en la celda I333 de la hoja “Calc Salud”, cambiando el valor de denominador

de la fórmula para coincidir con el nuevo año de referencia (2017 en la base de datos de abril de 2021). Una vista a la formula indicada se presenta en la Figura 5-23.

Figura 5-23. Vista pestaña Calc Salud

FIND

Not set Official U

	H	I	J	K	L	M
317		Valor				
318		1.5				
319		\$ 9,400,000				
320		\$ 57,900				
321						
322		2011	2012	2013	2014	2015
323		98.11829357	100.0003087	101.7547343	103.6800677	104.7888685
324		1.12	1.10	1.08	1.06	1.05
325						
326						
327		2018	2019	2020	2021	2022
328		\$ 942,885	\$ 960,369	\$ 897,578	\$ 1,060,158	\$ 1,046,065
329		\$ 960,502	\$ 982,817	\$ 903,161	\$ 1,112,086	\$ 1,093,638
330		\$ 1,265,490	\$ 1,285,016	\$ 1,214,610	\$ 1,395,358	\$ 1,379,883
331		\$ 2,024,784	\$ 2,056,026	\$ 1,943,376	\$ 2,232,573	\$ 2,207,813
332						
333		I324				
334		0.9493				

Si el usuario desea agregar años adicionales a las proyecciones en la herramienta, se deberán llenar los datos correspondientes en la pestaña WEO y modificar las fórmulas de la hoja Calc Salud, entre las filas 286 a 293.

5.8 Hoja Otros

La hoja “Otros” contiene las tasas de descuento aplicables para cada país y los factores emisión concentración transferidos desde Chile. La metodología y fuentes e información se encuentran en las secciones 6.2.5.3 y 6.1.2 de anexos, respectivamente.

Nótese que el usuario selecciona la tasa de descuento a utilizar en la pestaña principal, PASO 7 y la metodología para relacionar emisiones y concentraciones en el PASO 4.

La pestaña “Otros” contiene los valores asociados a las opciones “FEC Chile” y a las tasas de descuento “constante (por defecto)” y “variable (por defecto)”, como se presenta en la Figura 5-24.

Figura 5-24. Selección de supuestos asociados a datos en pestaña “Otros”

PASO 4 Indicar relación entre emisiones y concentraciones a utilizar (si PASO 2 es "Ingreso cambio en emisiones")

Seleccionar -->

Valores en hoja "Otros" →

Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)
Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)
Intake fraction (Apte et al. 2012)
FEC (Chile)

Para Chile, seleccionar "FEC - Chile"

PASO 7 Indicar tasa de descuento

Seleccionar -->

Si "ingresada usuario" -->

Valores en hoja "Otros" →

variable (por defecto)
ingresada usuario (Constante)
constante (por defecto)
variable (por defecto)

ingresar con símbolo de porcentaje. Ejemplo: 7%

La pestaña "Otros", al igual que las otras pestañas de datos, contiene en la columna A los códigos de datos que son leídos en la pestaña "Calc Salud". Los códigos corresponden a:

- Nombre país + ".tasa", en el caso de la tasa de descuento. Ejemplo: "Colombia.tasa".
- Código ciudad o región + ".fec." + contaminante, en el caso de los factores emisión – concentración. Ejemplo: "rm.ch.fec.nox"

Los códigos asociados a las zonas geográficas se encuentran en la pestaña "Aux", como se presenta en la Figura 5-16 (sección 5.4).

La Figura 5-25 presenta una vista a la pestaña de datos "Otros". Nótese que, si la columna de códigos está vacía, el dato no se utiliza en los cálculos (pero puede ser informativo para el usuario). Los valores asociados a la tasa de descuento se encuentran en 3 columnas, para permitir el ingreso de una tasa diferenciada en el tiempo.

Figura 5-25. Vista pestaña "Otros"

Código de datos. En caso de no haber código, el valor no es utilizado en los cálculos

Valores. La tasa de descuento puede tener hasta 3 valores en el tiempo

Otros parametros							
codigo	serie	unidad	Pais/ciudad	Valor 0	Valor año 10	Valor Año 20	Fuente
Chile.tasa	Tasa de descuento	ninguna	Chile	6%	6%	5.05%	Ministerio de Desarroll
Colombia.tasa	Tasa de descuento	ninguna	Colombia	5%	3%	3%	Autoridad Nacional de
Peru.tasa	Tasa de descuento	ninguna	Peru	8%	8%	4.40%	Ministerio de Economi
Mexico.tasa	Tasa de descuento	ninguna	Mexico	3%	3%	3%	Harvard T.H. Chan Sch
Aux Factores emision-concentracion Chile, Planilla "FEC Chile.xlsx"							
rm.ch.fec.pm2.5	Factor emision-concentrac pm2.5	ton/µg/m3	rm.ch	481			Plan de descontaminac
rm.ch.fec.so2	Factor emision-concentrac so2	ton/µg/m3	rm.ch	1410			Plan de descontaminac
rm.ch.fec.nox	Factor emision-concentrac nox	ton/µg/m3	rm.ch	4088			Plan de descontaminac
	Factor emision-concentrac PM2.5	ton/µg/m3	rm.ch	279.80875			En base a ESTUDIO CO-
	Factor emision-concentrac NOx	ton/µg/m3	rm.ch	7785.5557			En base a ESTUDIO CO-
	Factor emision-concentrac SO2	ton/µg/m3	rm.ch	5266.0497			En base a ESTUDIO CO-

5.8.1 Preparación de datos para hoja "Otros"

La modificación de esta pestaña requiere utilizar la misma estructura de códigos de la versión cargada en la herramienta. Se recomienda que el usuario inserte las filas necesarias entre medio de los datos cargados, para que las fórmulas que utilizan los datos sean actualizadas automáticamente.

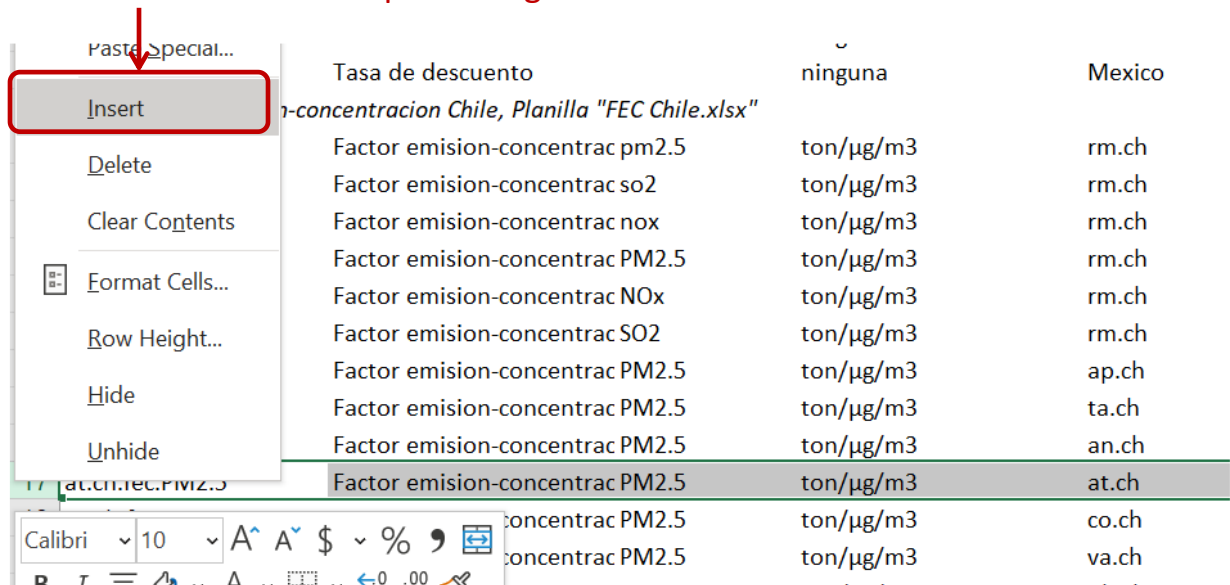
El usuario puede borrar los datos que sean reemplazados por nueva información, o bien, eliminar el código de la columna A y mantener los datos antiguos, en caso de que se requiera consultarlos o volverlos a utilizar en el futuro.

Se recomienda también indicar la fuente (columna I) de datos adicionales ingresados, de modo de poder trazar la procedencia de los datos, al igual que el nombre de la serie (columna B) y unidad de los datos (columna D).

La Figura 5-26 presenta el menú de Excel donde se permite insertar columnas de datos.

Figura 5-26. Inserción de filas de datos, pestaña “Otros”.

Inserción de nuevas filas para el ingreso de nueva información



5.9 Hoja “Aux”

La hoja “Aux” corresponde a la pestaña donde se ubican diccionarios de nombres de series y códigos de datos y listas de datos utilizados en listas desplegables dentro de la pestaña “Principal”.

Su relación con las demás pestañas de cálculo ha sido indicada en las diferentes secciones de esta guía. Por ejemplo, los códigos asociados a las zonas geográficas se presentó en la Figura 5-10, Figura 5-12 y Figura 5-16. La Figura 5-18 presentó los códigos asociados a las distintas metodologías de funciones concentración respuesta.

En esta pestaña además se encuentra la elasticidad del ingreso a utilizar para la transferencia de VSL desde la OCDE, presentados en la Figura 5-27.

Figura 5-27. Vista pestaña “Aux”, elasticidad del ingreso a utilizar para transferencia de VSL desde países OECD.

34	Elasticidad ingreso de acuerdo a grupo de ingresos, OECD		
35	Peru	Upper-middle-income	1.2
36	Chile	High-income	0.8
37	Mexico	Upper-middle-income	1.2
38	Colombia	Upper-middle-income	1.2

5.9.1 Preparación de datos para hoja

Para agregar datos adicionales, se recomienda insertar filas entre medio de cada diccionario de datos o filas correspondientes a listas desplegables. De este modo, no es necesario actualizar las referencias a los datos en formulas o en listas desplegables.

Por ejemplo, si se agregara una nueva zona geográfica al análisis, se debe insertar una fila de datos e ingresar los campos correspondientes. La Figura 5-28.

Figura 5-28. Vista pestaña “Aux”, ingreso nueva zona geográfica al análisis.

Nueva ciudad agregada a la lista Nuevo código de zona geográfica (debe ser único!)				
1	Zona geográfica			
2	Nombre	Código	Pais 1	Pais 2
3	Region Metropolitana, Chile	rm.ch	Chile	Chile
4	Bogotá, Colombia	bo.co	Colombia	Colombia
5	Barranquilla, Colombia	ba.co	Colombia	Colombia
6	Ciudad de México, México	cdmx.me	México	México
7	Lima y Callao, Perú	lc.pe	Peru	Peru
8	Estado de México, México	em.me	Mexico City	Mexico
9	Tizayuca, México	tz.me	Mexico City	Mexico
10	Zona Metropolitana del Valle de México	zmvm.me	Mexico City	Mexico

En el caso de que el usuario agregue una nueva zona geográfica al análisis deberá completar los datos necesarios, siguiendo la estructura de códigos y datos, en las pestañas:

- Población
- Tasas incidencia. Solo si la zona geográfica corresponde a un nuevo país
- Cal aire
- iFs CMs
- WEO. Solo si se trata de un nuevo país
- Otros. Tasa de descuento solo si la zona pertenece a un nuevo país y FEC para cada nueva zona geográfica.

6 Anexos metodológicos

6.1 Relación entre emisiones y concentraciones

Una vez cuantificadas los cambios en emisiones asociados a una regulación (u otro evento), es necesario cuantificar el impacto en la concentración ambiental de material particulado. La menor concentración de PM_{2.5} en el ambiente implicará que la población expuesta a la contaminación respirará un aire más limpio, lo que derivará en impactos positivos en la salud de la población. La Figura 6-1 presenta un diagrama del impacto de emisiones en concentraciones y finalmente en salud humana.

Figura 6-1: Diagrama del impacto de emisiones en concentración de PM_{2.5}, exposición e impactos en salud.



Fuente: New Climate Institute¹

Las herramientas HEBASH, HEMAQ y HETRANS implementan diferentes opciones para relacionar emisiones y concentraciones: i) en base a Apte et al. (2012), ii) en base a Fantke et al. (2017) y iii) en base a transferencia de FEC.

En esta sección presentamos las opciones metodológicas para vincular emisiones y concentraciones ambientales incluidas en HEBASH.

6.1.1 Fracciones de consumo o intake fractions

La estimación de los impactos en salud necesariamente requiere vincular la reducción de emisiones con su impacto en la calidad del aire. Para determinar dicha relación es posible utilizar fracciones de consumo (o intake fractions) de la literatura internacional.

Las fracciones de consumo relacionan la masa de contaminante inhalado por la población expuesta, los cambios en concentración ambiental de PM_{2.5}, la tasa de respiración promedio y la tasa de emisiones, como se muestra en la expresión (6-1).

$$iF = \frac{\sum_{i=1}^N P_i * \Delta C_i * BR}{E} \quad (6-1)$$

Donde:

¹ Disponible en https://ambitiontoaction.net/wp-content/uploads/2019/10/AIRPOLIM_ES_Overview_Oct19-1.pdf, consultado en Julio de 2020.

iF : “Intake Fraction” o fracción de consumo, expresada en masa de $PM_{2.5}$ inhalados por tonelada de emisiones.

P_i : Población residente en la zona, donde i es la distancia a la Fuente emisora

ΔC_i : Cambio en concentración ambiental de $PM_{2.5}$

E : Tasa de emisión del contaminante

BR : Tasa de respiración promedio

La revisión bibliográfica de la literatura de fracciones de consumo detectó dos estudios que incluían fracciones de consumo para fuentes urbanas a nivel de suelo para las ciudades de interés en el presente estudio: Apte et al. (2012) y Fantke et al. (2017). Ambos estudios analizan fracciones de consumo para el $PM_{2.5}$ para más de 3.000 ciudades, representando todas las regiones del mundo.

6.1.1.1 Opción 1, utilizando Apte et al. 2012.

Apte et al. (2012) permite estimar cambios en la concentración de $PM_{2.5}$ por cada tonelada emitida, reordenando los términos de la expresión (6-1), a partir de la fracción de consumo iF reportada para Lima, como se presenta en la expresión (6-2).

$$\Delta C_{por\ ton} = \frac{iF}{Pob * BR} \quad (6-2)$$

Apte et al. (2012) permite cuantificar cambios en la concentración de $PM_{2.5}$ derivados de las emisiones directas de $PM_{2.5}$. Para incluir en el análisis el impacto de los principales precursores del $PM_{2.5}$ se sigue la recomendación del documento del Banco Mundial “*Local Environmental Externalities due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health*” (World Bank Group and ESMAP 2017). Dicho documento propone utilizar el estudio Humbert et al. (2011) en combinación con Apte et al. (2012).

Humbert et al. (2011) analiza la literatura de fracciones de consumo desarrollada hasta la fecha y recomienda valores para emisiones directas de material particulado ($PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5}$) y para sus principales precursores (SO_2 , NO_x y NH_3). El estudio recomienda fracciones de consumo para fuentes urbanas, rurales y remotas, emitidas a nivel de suelo, chimeneas bajas y chimeneas altas. En el caso de las emisiones del transporte, se consideran los valores para fuentes urbanas a nivel de suelo. La fracciones de consumo recomendadas en Humbert et al. (2011) se presentan en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Fracciones de consumo urbanas a nivel de suelo, Humbert et al. (2011)

Tipo emisión	Contaminante	iF (ppm)
$PM_{2.5}$ directo	$PM_{2.5}$	44
Precursores $PM_{2.5}$	SO_2	0,99
	NO_x	0,2

Fuente: Tabla 3, Humbert et al. (2011)

Siguiendo a World Bank Group y ESMAP (2017), es posible obtener las fracciones de consumo para los contaminantes secundarios NO_x y SO_2 , utilizando la expresión (6-3).

$$iF_{\text{precursor ciudad}} = iF_{\text{precursor Humbert et al.2011}} * \frac{iF_{PM_{2,5} \text{ ciudad Apte et al.2012}}}{iF_{PM_{2,5} \text{ Humbert et al.2011}}} \quad (6-3)$$

En el caso de México, es de interés poder distinguir entre la ZMVM, Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca. El estudio Apte et al. (2012) presenta una fracción de consumo para la ZMVM en su conjunto, sin distinguir entre las áreas que la componen. Debido a esto, se estiman fracciones de consumo para la Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca ajustando por la población de cada una de estas áreas, al aplicar la expresión (6-2). Sin embargo, aun cuando HEBASH permite seleccionar cada una de estas zonas para la cuantificación de beneficios en salud, se recomienda llevar a cabo análisis utilizando la ZMVM, ya que la fracción de consumo fue calculada para dicha zona. Además, nótese que al ingresar a HEBASH reducción de emisiones, se debe ingresar solamente reducciones en la zona geográfica selecciona.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Fracciones de consumo (iF) y cambios en concentración de PM_{2,5} por tonelada

Area	Contaminante	iF (ppm)	$\Delta C_{\text{por ton}}$ [µg/m ³ por ton/año]
Lima y Callao	PM _{2,5}	56.3	1.29E-03
	NOx	1.27	2.91E-05
	SO ₂	0.26	5.88E-06
Región Metropolitana	PM _{2,5}	39.2	1.27E-03
	NOx	0.88	2.87E-05
	SO ₂	0.18	5.79E-06
Bogotá	PM _{2,5}	75.2	1.90E-03
	NOx	1.69	4.28E-05
	SO ₂	0.34	8.64E-06
ZMVM	PM _{2,5}	145	1.35E-03
	NOx	3.26	3.04E-05
	SO ₂	0.66	6.13E-06
Estado de México	PM _{2,5}	145	2.37E-03
	NOx	3.26	5.34E-05
	SO ₂	0.66	1.08E-05
Ciudad de México	PM _{2,5}	145	3.17E-03
	NOx	3.26	7.13E-05
	SO ₂	0.66	1.44E-05
Tizayuca, México	PM _{2,5}	145	2.44E-01
	NOx	3.26	5.50E-03
	SO ₂	0.66	1.11E-03

Fuente: Elaboración propia en base a (Apte et al. 2012) y (Humbert et al. 2011).

6.1.1.2 Opción 2, utilizando Fantke et al. 2017

Fantke et al. (2017) presenta fracciones de consumo para zonas urbanas y rurales, considerando exposición ambiental (outdoors) a PM_{2,5}, exposición en ambientes cerrados (indoors) y una combinación de exposición ambiental y en ambientes cerrados. Dicho estudio presenta además un anexo digital, que contiene un resultado intermedio para el cálculo de las fracciones de consumo, llamado “matrices de concentración” *CM*, que relacionan directamente las emisiones del PM_{2,5} con las concentraciones del mismo contaminante. Este resultado intermedio es equivalente al valor $\Delta C_{por\ ton}$ calculado utilizando Apte et al. (2012).

Fantke et al. (2017) sólo incluye el impacto de las emisiones de PM_{2,5}, sin considerar los precursores del material particulado. Siguiendo la misma lógica recomendada en World Bank Group y ESMAP (2017), nuevamente es posible utilizar las fracciones de consumo de Humbert et al. (2011) presentadas en la Tabla 6-1 para obtener los coeficientes *CM* para los precursores NO_x y SO₂, de acuerdo a lo indicado en la expresión (6-4). El coeficiente utilizado de la matriz *CM* corresponde a zonas urbanas y a concentración ambiental del PM_{2,5}.

$$CM_{precursor\ ciudad} = CM_{precursor\ Humbert\ et\ al.2011} * \frac{CM_{PM2,5\ ciudad\ Fantke\ et\ al.2017}}{iF_{PM2,5\ Humbert\ et\ al.2011}} \quad (6-4)$$

Nuevamente, en el caso de México, es de interés poder distinguir entre la ZMVM, Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca. El estudio Fantke et al. (2017) presenta una matriz *CM* para la ZMVM en su conjunto, sin distinguir entre las áreas que la componen. Debido a esto, se estiman matrices *CM* para la Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca ajustando por la razón entre la población de la zona de interés y la población de la ZMVM. Sin embargo, aun cuando HEBASH permite seleccionar cada una de estas zonas para la cuantificación de beneficios en salud, se recomienda llevar a cabo análisis utilizando la ZMVM, ya que la matriz *CM* fue calculada para dicha zona. Además, nótese que al ingresar a HEBASH reducción de emisiones, se debe ingresar solamente reducciones en la zona geográfica selecciona.

Los resultados obtenidos para se presentan en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Coeficientes que relacionan emisión y concentración

Área	Contaminante	<i>CM</i> [µg/m ³ por ton/año]
Lima y Callao	PM _{2,5}	1.43E-03
	NO _x	3.22E-05
	SO ₂	6.51E-06
Región Metropolitana	PM _{2,5}	1.56E-03
	NO _x	3.51E-05
	SO ₂	7.09E-06
Bogotá	PM _{2,5}	2.34E-03
	NO _x	5.26E-05
	SO ₂	1.06E-05
ZMVM	PM _{2,5}	2.06E-03

	NOx	4.62E-05
	SO ₂	9.34E-06
Estado de México	PM _{2,5}	3.61E-03
	NOx	8.13E-05
	SO ₂	1.64E-05
Ciudad de México	PM _{2,5}	1.54E+00
	NOx	3.46E-02
	SO ₂	6.99E-03
Tizayuca, México	PM _{2,5}	6.54E-01
	NOx	1.47E-02
	SO ₂	2.97E-03

Fuente: Elaboración propia en base a Fantke et al. (2017) y Humbert et al. (2011)

La relación entre emisiones y concentraciones recomendada a utilizar por defecto en HEBASH corresponde a la opción basada en Fantke et al. (2017), debido a que se trata de un estudio más reciente que además reporta directamente la relación entre emisiones y concentraciones de PM_{2,5}.

6.1.2 Factores emisión concentración, Chile

En el caso de Chile, para el producto 3, es de interés de la presente consultoría realizar un análisis desagregado para cada una de las regiones del país. Es por esto que es necesario utilizar una relación entre emisiones y concentraciones a nivel regional.

El análisis se basa en el estudio (GreenLabUC 2011), en que se propone una metodología para determinar factores que relacionen emisiones y concentraciones para diferentes sectores emisores y zonas geográficas de Chile. A partir de factores emisión-concentración para 7 ciudades se propone una metodología de “transferencia” de acuerdo con el volumen (o superficie) de la zona del FEC original a la región de destino.

La idea es ajustar el FEC de acuerdo con el volumen de dispersión de los contaminantes en el área original y en área de transferencia. Se asume que la altura de mezcla es la misma en el área original de estudio y en el área de transferencia, con lo que el ajuste de FEC considera la razón entre las superficies en dichas áreas, de acuerdo con la expresión (6-5).

Para cada región, el resultado de la transferencia dependerá de si está compuesto de provincias costeras y/o interiores. Para cada región, se puede contar con más de 1 posible FEC.

$$FEC_{jc} = FEC_{i \text{ transporte}} * \frac{Superficie_j}{Superficie_i} \quad (6-5)$$

Donde:

FEC_{jc} : Factor emisión-concentración ajustado para la región j y área tipo c (ton/μg/m³)

$FEC_{i \text{ transporte}}$: Factor emisión-concentración de la ciudad i representante del sector transporte

$Superficie_j$: Superficie urbana de la región j

$Superficie_i$: Superficie urbana de la ciudad i

c : tipo de área costera o no-costera.

Nótese que provincias de una misma región pueden tener asignado un FEC del estudio original diferente, debido la existencia de provincias costeras e interiores en una misma región. Debido a esto, después de utilizar la expresión (6-5) se puede tener más de un FEC regional. Para obtener solo 1 FEC para cada región, se calcula un promedio ponderado por población de los FEC obtenidos para cada región, de acuerdo con expresión (6-6).

$$FEC_j = \frac{\sum_c Pobl_c * FEC_{jc}}{Pobl_j} \quad (6-6)$$

Donde:

$Pobl_c$: Población provincia costera o no costera.

$Pobl_j$: Población región j

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Relación entre emisiones y concentraciones utilizando FEC, regiones de Chile [$\mu\text{g}/\text{m}^3$ por ton/año]

Region	PM2.5	NOx	SO2
Arica y Parinacota	5.78E-02	3.49E-03	4.34E-03
Tarapacá	4.78E-02	2.81E-03	3.53E-03
Antofagasta	3.13E-02	1.66E-03	2.17E-03
Atacama	2.99E-02	1.14E-03	1.65E-03
Coquimbo	1.60E-02	8.31E-04	1.09E-03
Valparaíso	4.29E-03	2.18E-04	2.89E-04
Metropolitana de Santiago	3.57E-03	1.28E-04	1.90E-04
Libertador General Bernardo O'Higgins	1.28E-02	4.74E-04	6.95E-04
Maule	1.55E-02	5.77E-04	8.45E-04
Ñuble	3.33E-02	1.20E-03	1.77E-03
Biobío	6.55E-03	3.54E-04	4.59E-04
La Araucanía	2.07E-02	7.45E-04	1.10E-03
Los Ríos	2.51E-02	1.37E-03	1.77E-03
Los Lagos	1.70E-02	9.08E-04	1.18E-03
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	9.59E-02	4.12E-03	5.78E-03
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.07E-02	3.09E-03	3.82E-03

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la Región Metropolitana, se cuenta también con el FEC utilizado en el AGIES del Plan de Descontaminación de la zona². Debido a que dicho FEC fue calculado utilizando información más reciente para la RM, se prefiere la utilización de dicho FEC en las herramientas.

Tabla 6-5: Relación entre emisión y concentración, RM Chile, de acuerdo con el Plan de Descontaminación de la RM

² Documento disponible en http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/338-374_AGIES.pdf

Contaminante	ton/μg/m3	μg/m3/ ton
PM _{2,5}	481	2.08E-03
NO _x	4088	2.45E-04
SO ₂	1410	7.09E-04

Fuente: En base a (Ministerio del Medio Ambiente de Chile 2015)

Además, se propone utilizar la misma metodología de transferencia de FEC para las otras ciudades del estudio, utilizando la expresión (6-6).

Tabla 6-6: Relación entre emisiones y concentraciones utilizando FEC, otras ciudades [μg/m3 por ton/año]

Ciudad	Area urbana (km2)	FEC de transporte a transferir	PM2.5	NO _x	SO ₂
Lima y Callao	147+2672	Gran Valparaíso	8.71E-04	5.30E-05	6.57E-05
Bogotá	384	Gran Santiago	9.91E-03	3.56E-04	5.27E-04
ZMVM	2884	Gran Santiago	1.32E-03	4.74E-05	7.01E-05
Ciudad de Mexico	1479	Gran Santiago	2.57E-03	9.25E-05	1.37E-04
Estado de Mexico	824	Gran Santiago	4.62E-03	1.66E-04	2.45E-04
Tizayuca	77	Gran Santiago	4.94E-02	1.78E-03	2.63E-03

Fuente: Elaboración propia

6.2 Metodología de impactos en salud

6.2.1 Metodología general

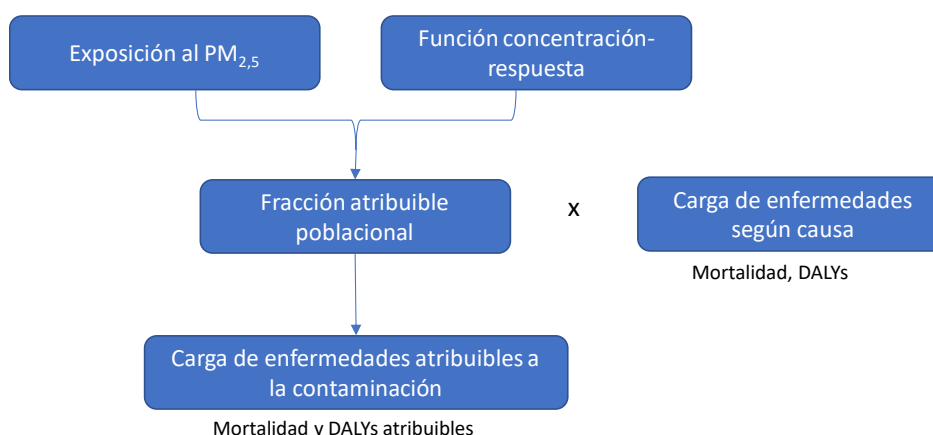
La herramienta HEBASH incorpora una metodología para la cuantificación de la carga de enfermedades atribuible a la contaminación. Previamente al cálculo de impactos en salud, se deben cuantificar cambios en emisiones y en concentración de PM_{2,5} en la atmósfera.

Una vez conocido el nivel de exposición al PM_{2,5} es posible cuantificar la carga de enfermedades asociados a un escenario de línea base y a un escenario de reducción de emisiones. La carga de enfermedades puede ser cuantificada, utilizando funciones concentración-respuesta (ver sección 6.2.2) y valorizada, utilizando un valor unitario asociado a la mortalidad evitada (ver sección 6.2.3).

En el presente análisis el enfoque será la mortalidad evitada, mientras que las métricas de años de vida perdidos (YLL), años vividos con discapacidad (YLD) y años de vida ajustados por discapacidad (DALYs=YLL+YLD) son reportadas, pero no valorizadas.

La Figura 6-2 presenta un esquema de la metodología a utilizar para la cuantificación de impactos en salud.

Figura 6-2: Esquema metodológico para la cuantificación de efectos en salud



Fuente: Elaboración propia en base a (World Health Organization 2018)

El nivel de concentración de PM_{2,5} y la función concentración-respuesta determinan el riesgo relativo (RR) para las distintas enfermedades asociadas a la contaminación. El RR es una medida del cambio en el riesgo de un efecto en salud adverso asociado con un cambio en el factor de riesgo (en este caso la exposición al PM_{2,5}). El RR indica la probabilidad de desarrollar un efecto adverso, respecto a un grupo que no se encuentra expuesto al factor de riesgo, en este caso a la contaminación atmosférica.

Una vez determinado el RR, es posible calcular la fracción atribuible poblacional (PAF), utilizando la expresión (6-7), donde c indica la causa y a el grupo etario al que aplica el RR.

$$PAF_{c,a} = 1 - 1/RR_{c,a} \quad (6-7)$$

La carga de enfermedades atribuibles a la contaminación, AB , corresponde a la multiplicación de la PAF y la carga de enfermedad (mortalidad, YLL, YLD y DALYs) total de línea base, para cada causa c y grupo etario a , como se indica en la expresión (6-8).

$$AB_{c,a} = PAF_{c,a} * Carga\ Enfermedades\ total_{c,a} \quad (6-8)$$

Alternativamente, la carga de enfermedades también puede expresarse como $Carga\ Enfermedades\ total_{c,a} = \lambda_{0,c,a} * Población_{c,a}$, donde $\lambda_{0,c,a}$ corresponde a la tasa de incidencia base.

El presente análisis reporta, además de la mortalidad, los YLL, YLDs y DALYs. Los valores de DALYs, YLL y YLD de línea base para el año 2016 corresponden a los resultados del estudio de carga global de enfermedades GBD 2017 (Institute for Health Metrics and Evaluation 2018) para Perú, Chile, Colombia y Ciudad de México.

Los DALYs combinan los años de vida perdidos debido a mortalidad prematura (YLL) y los años vividos en un estado de salud no óptimo (YLD). Los DALYs para cada causa c y grupo etario a , corresponde a la suma de los YLL y de los YLD, como se indica en la expresión (6-9).

$$DALY_{c,a} = YLL_{c,a} + YLD_{c,a} \quad (6-9)$$

Los años de vida perdidos, YLL, se calculan multiplicando el número de muertes prematuras por una función de pérdida $L_{s,a}$, que da cuenta de los años restantes de vida perdidos, de acuerdo con la expresión (6-10).

$$YLL_{c,a} = Numero\ de\ muertes_{c,a} * L_a \quad (6-10)$$

Los años vividos con discapacidad (YLD) corresponden a la multiplicación de la prevalencia $P_{c,a}$ de cada condición asociada a cada causa y un peso por la discapacidad $DW_{c,a}$ que implica cada condición, en un escala de 0 (salud perfecta) a 1 (muerte), como se presenta en la expresión (6-11).

$$YLD_{c,a} = P_{c,a} * DW_{c,a} \quad (6-11)$$

Finalmente, el beneficio económico de la mortalidad evitada se obtendrá multiplicando el número de casos de evitados por el valor de la vida estadística (ver sección 6.2.3), tal como se señala la expresión (6-12).

$$Beneficio = \sum_c \Delta Mortalidad_c \cdot VSL \quad (6-12)$$

Dónde:

Beneficio: Beneficio asociado a la mortalidad prematura evitada [\$]

VSL: Valor de la vida estadística (VSL por sus siglas en inglés) [\$/caso]

6.2.2 Funciones concentración-respuesta

La función concentración-respuesta utilizada y el nivel de concentración de PM_{2,5} determinarán el riesgo relativo asociado a la exposición a la contaminación atmosférica, para cada causa de enfermedad y grupo etario.

En HEBASH se incluyen la posibilidad de calcular RR asociados a la contaminación de acuerdo con las fuentes metodológicas indicadas en la Tabla 6-7. Dicha tabla resume las causas de mortalidad consideradas en cada estudio, el grupo etario al que aplican y la fuente de los valores utilizados.

Tabla 6-7: Comparación Efectos asociados a la mortalidad, estudios seleccionados

Enfermedad	Edad	Hoek et al. 2013	Burnett et al. 2018	GBD 2015-2016 ³	GBD 2017	GBD 2019
Causas naturales	30+	✓				
Enfermedad coronaria (IHD)*	25+		✓		✓	✓
Derrame cerebral (Stroke)*	25+		✓		✓	✓
Infecciones respiratorias bajas (LRI)	25+		✓			
	0-4**			✓		
	todas				✓	✓
Cáncer al pulmón	25+		✓	✓	✓	✓
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD)	25+		✓	✓	✓	✓
	todas					
Diabetes Mellitus tipo 2	25+				✓	✓

Fuente: (Hoek et al. 2013), (GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017) (Burnett et al. 2018; GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017) (WHO Regional Office for Europe 2016). Para GBD 2019 (no publicado), los datos fueron provistos por Michael Brauer, del IHME. (*) Enfermedad coronaria y derrame cerebral presentan distinto RR de acuerdo con el grupo etario. (**) Rango de 0 a 4 años se refiere a los menores de 5 años de edad.

Las funciones concentración respuesta utilizadas por el software de la OMS, AirQ+, corresponden (Hoek et al. 2013) para mortalidad natural y al estudio *Global Burden of Disease* 2016 (GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017) para causas específicas de mortalidad. Las funciones utilizadas en el estudio GBD corresponden a funciones integradas que como su nombre indica, integran RR obtenidas por exposición a contaminación ambiental por PM_{2,5}, exposición de fumadores pasivos, exposición a contaminación debido al uso para cocinar de combustibles sólidos y exposición de fumadores activos. Este tipo de funciones han sido utilizadas ampliamente, debido a que permiten caracterizar la exposición a altos niveles de PM_{2,5}, incluyendo rangos para los que no existen estudios de cohorte aplicados a contaminación ambiental.

³ Los RR de para “GBD 2015-2016” fueron obtenidos de los archivos correspondientes al software airQ+. La Documentación y descarga de AirQ+ se encuentra disponible en <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>, consultado en Julio de 2020.

Además de las funciones utilizadas en AirQ+, se incluye también el estudio (Burnett et al. 2018). Este estudio relaciona la mortalidad con la contaminación atmosférica utilizando solo estudios de contaminación ambiental (*outdoors*) por PM_{2.5} desarrollando una función concentración-respuesta que no es del tipo integrada. El estudio construye una función de riesgo (Hazard-ratio) incluyendo un nuevo estudio de cohorte desarrollado en China, que permite capturar el impacto de la contaminación a niveles de exposición relativamente altos. Los resultados del estudio indican que la mortalidad asociada a la contaminación podría ser más alta de lo que se ha considerado previamente.

Se incluyen además dos versiones más recientes del estudio de Carga Global de Enfermedades (GBD), del IHME: i) el estudio GBD 2017 y ii) GBD 2019, estudio que será publicado este año. Estos dos estudios corresponden a funciones de exposición integradas. El GBD 2019, incluye nueva información disponible, incluyendo un estudio de cohorte en Chile. Ambos estudios, GBD 2017 y 2019, incluyen nuevas técnicas de estimación simultánea de la carga de enfermedades de contaminación ambiental (*outdoors*) y contaminación intradomiciliaria (*household pollution*). En el presente estudio, solo nos enfocamos en la contaminación ambiental, pero en zonas en que la contaminación dentro de los hogares es relevante, se recomienda evaluar simultáneamente el impacto de la contaminación ambiente e intradomiciliaria.

6.2.3 Proyecciones de población hasta 2050

La cuantificación de la carga de enfermedades atribuible a la contaminación asumirá una tasa de incidencia base constante en el tiempo y una población proyectada hasta el año 2050. Para realizar dicha proyección se combina información de fuentes locales en combinación con proyecciones del Banco Mundial (World Bank Group 2019) y con información del IHME.

Para la zona de Lima y Callao, se considera la población del año 2017, incluyendo la población censada y a la no censada. Para años posteriores a 2017, se aplica el crecimiento de la población nacional en la zona de Lima y Callao, de acuerdo a lo proyectado en (INEI, UNFPA, and CEPAL 2019). En el presente estudio utiliza las proyecciones de población de INEI. Sin embargo, a modo de comparación, la Figura 6-3 a) presenta las proyecciones de población para Perú del Banco Mundial y las de INEI.

En el caso de Chile, se cuenta con proyecciones de población del INE hasta el año 2035. A partir del año 2036, se considera una población constante, igual a la de 2035, debido a que las proyecciones del Banco Mundial para Chile son inferiores a las del INE. Incluso para el año 2050, la estimación del Banco Mundial es inferior a la estimación del INE para 2035, por lo que se decide suponer una población constante desde 2036 en adelante. Se combina la información del INE con las distribuciones de población según tramo etario del Banco Mundial y del IHME para el grupo mayor a 80 años, subdividido en 80 a 84, 85 a 89, 90 a 94 y 95+.

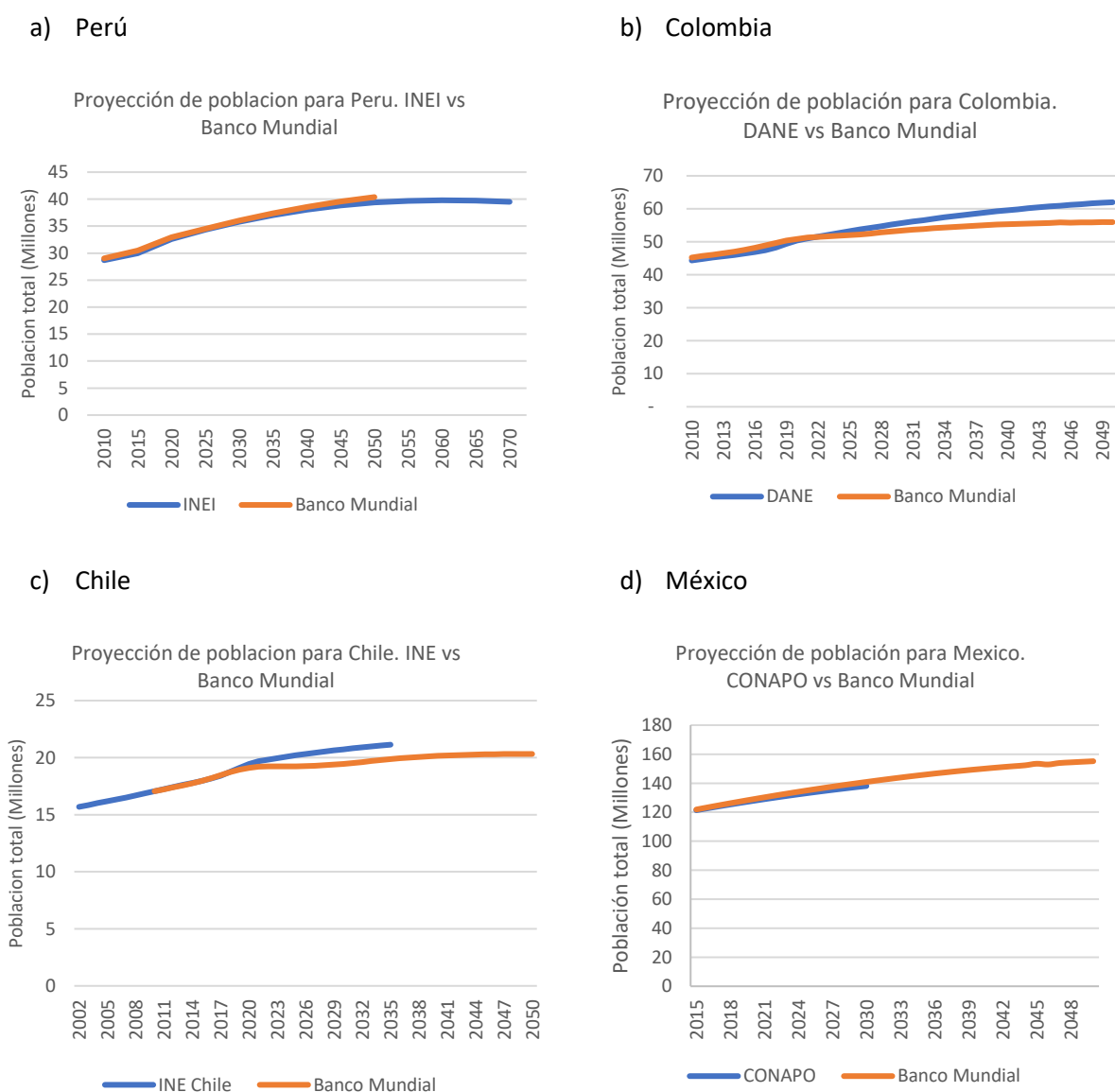
En el caso de México, se cuenta con proyecciones de población según edad hasta 2030. Además, se cuenta con una proyección agregada (sin tramo de edad) de población hasta 2050 para CDMX y para el Estado de México. No se cuenta con proyección entre 2031 y 2050 para Tizayuca. Dado que desde el año 2028 hasta 2030 la proyección para Tizayuca indicaba decrecimiento poblacional, a partir del año 2031 consideramos una población constante, igual a la población proyectada para 2030. Para desagregar el

grupo de edad de los mayores de 65 años, se utiliza la proporción (grupos 65-69, 70-74, 75-79, 80-84, 85-89, 90-94 y 95+) del Banco Mundial (World Bank Group 2019).

Finalmente, en el caso de Bogotá, se utilizan íntegramente las proyecciones del DANE.

La Figura 6-3 presenta una comparación entre las proyecciones locales de población y las proyecciones del Banco Mundial.

Figura 6-3: Proyecciones de población locales comparadas con proyecciones del Banco Mundial



Fuente: Elaboración propia en base a (World Bank Group 2019), (INEI, UNFPA, and CEPAL 2019), (DANE 2020), (CONAPO 2020), INE⁴.

⁴ Datos de población para Chile disponibles en <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>, consultado en mayo de 2020

6.2.4 Tasas de mortalidad, de años de vida perdidos y de años vividos con discapacidad

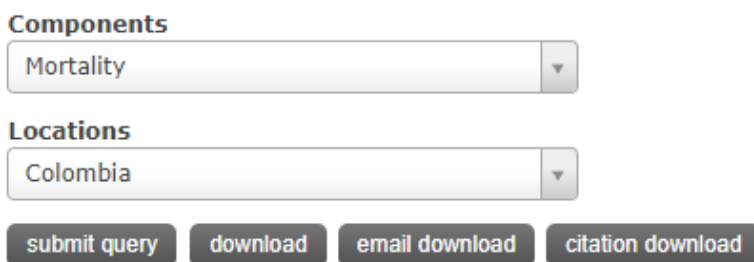
Las tasas de mortalidad, tasas de YLL e YLD corresponden a las reportadas por IHME (2018) para el año 2017, en la herramienta “GBD Results tool”. Dichas tasas han sido calculadas a partir de información local, reportada por los países.

En el caso de la mortalidad, la información corresponde a los reportes realizados por los países a la OMS utilizando la Clasificación internacional de enfermedades, décima edición (CIE-10).

La información de población, requerida para el cálculo de las tasas, se obtiene a partir de censos de población disponibles, de acuerdo con la información recopilada por la División de Estadísticas de las Naciones Unidas.

El detalle de los metadatos y fuentes de información utilizados para cada país pueden ser consultados utilizando la herramienta “GBD 2017 Data Input Sources Tool”, seleccionando el componente de interés, y la zona geográfica, como se presenta en la Figura 6-4.

Figura 6-4: Herramienta para fuentes de información utilizadas según país en el estudio GBD 2017



The image shows a web interface for the GBD 2017 Data Input Sources Tool. It features two dropdown menus. The first, labeled 'Components', has 'Mortality' selected. The second, labeled 'Locations', has 'Colombia' selected. Below these menus are four buttons: 'submit query', 'download', 'email download', and 'citation download'.

Fuente: <http://ghdx.healthdata.org/gbd-2017/data-input-sources?locations=125&components=21>

6.2.5 Valoración de la mortalidad prematura evitada

Asignar un valor a la mortalidad evitada es necesario para la estimación de los beneficios de políticas públicas que implicarían cambios en la mortalidad (Robinson et al. 2019). Existen diferentes métodos de valoración de la mortalidad evitada, entre ellos el valor de la vida estadística, asociado a la disposición a pagar por reducción de riesgos, y el enfoque del capital humano.

Es importante aclarar que el valor de la vida estadística (VSL por sus siglas en inglés) no representa el valor de vidas individuales, si no que representa el beneficio económico de evitar mortalidad prematura desde la perspectiva de las preferencias individuales y bienestar. Mediante el enfoque de la disposición a pagar, el VSL representa el valor que grandes grupos de personas estarían dispuestas a pagar por reducciones de riesgo individual de morir en un año determinado, tal que en términos esperados se reduzca en promedio una muerte dentro de ese grupo de personas durante el año.

Por otro lado, el enfoque del capital humano asume como el costo del fallecimiento prematuro el potencial productivo del individuo, medido a través del valor presente de sus ingresos futuros. La hipótesis

es que con la muerte prematura existe una pérdida de productividad para el país. Este enfoque ignora el bienestar de los individuos, sus preferencias, el valor de una vida sana y la disposición a pagar por reducción de riesgos de los individuales.

La Tabla 6-8 presenta diferentes fuentes y valores utilizados para la valoración de la mortalidad evitada en Perú, Chile, Argentina, México, Brasil, Estados Unidos y en países OCDE. Los enfoques de valoración en la tabla corresponden al enfoque de capital humano, al enfoque de disponibilidad a pagar y a transferencias desde valores internacionales.

Tabla 6-8: Comparación estimaciones de valor para mortalidad evitada

País	Tipo de riesgo	Enfoque	Valor mortalidad	Fuente
Perú	Todos	Capital humano	\$465,784 soles (promedio), \$0.138 millones de dólares 2017	(Seminario de Marzi 2017)
Chile	Enfermedad cardiorrespiratoria	Disponibilidad a pagar	\$426 millones de pesos, \$0.69 millones de dólares 2017	(GreenLabUC 2014)
	Riesgo vial		\$2,810 millones de pesos, \$4.5 millones de dólares 2017	
	Enfermedad cardiorrespiratoria		\$10,111 UF, 0.34 millones de dólares 2017	(Ministerio de Desarrollo Social 2017)
	Riesgo vial		\$81,739 UF, \$3.2 millones de dólares 2017	
	Riesgo vial	Capital humano	\$67.2 millones de pesos, \$0.123 millones de dólares 2017	(Ministerio de Planificación 2011)
Estados Unidos (EPA)	Contaminación atmosférica	Riesgos laborales y disponibilidad a pagar	\$7.4 millones de dólares 2006 ⁵	(US EPA, n.d.)
Países OCDE	Valoración de mortalidad para medioambiente, salud y transporte.	Disponibilidad a pagar	\$3 millones de dólares 2005,	(OECD 2012)
Argentina	Contaminación atmosférica, políticas de transporte	Transferencia VSL	\$2.1 millones de dólares 2015, \$2.2 millones de dólares PPP 2011	Tabla 2, ICCT (2019)
Brasil	Contaminación atmosférica, políticas de transporte	Transferencia VSL	\$1.7 millones de dólares 2015, \$1.3 millones de dólares PPP 2011	Tabla 2, ICCT (2019)
México	Contaminación atmosférica, políticas de transporte	Transferencia VSL	\$1.7 millones de dólares 2015, \$1.5 millones de dólares PPP 2011	Tabla 2, ICCT (2019)

⁵ Valor obtenido de <https://www.epa.gov/environmental-economics/mortality-risk-valuation>, consultado en octubre de 2019.

País	Tipo de riesgo	Enfoque	Valor mortalidad	Fuente
Ciudad de México	Contaminación atmosférica, políticas de transporte	Transferencia VSL	\$4.7 millones de dólares	(Harvard T.H. Chan School of Public Health 2018)

Fuente: Elaboración propia en base a (Seminario de Marzi 2017), (GreenLabUC 2014), (Ministerio de Desarrollo Social 2017), (Ministerio de Planificación 2011), (US EPA, n.d.), (OECD 2012), (International Council on Clean Transportation 2019), (Harvard T.H. Chan School of Public Health 2018)

De la tabla anterior, se desprende que el valor utilizado para valorizar mortalidad evitada se correlaciona con el nivel de ingresos del país en que será aplicado y que su valor varía considerablemente de acuerdo con el enfoque utilizado para su cuantificación. Las valoraciones mediante el método de capital humano son inferiores a las obtenidas mediante disposiciones a pagar, ya que el primero sólo considera ingresos futuros que no serán percibidos, sin considerar otros factores que son valorados por los individuos, constituyendo una cota inferior para la monetización de la mortalidad evitada.

La transferencia de VSL es una práctica habitual en el análisis costo-beneficio de políticas públicas (Robinson et al. 2019) y en particular en políticas con impacto en la calidad del aire (Narain and Sall 2016; OECD 2012). Debido a esto, la herramienta incorpora la transferencia desde países OCDE y desde Estados Unidos. Además, presenta dos opciones vinculadas al PIB per cápita de cada país. Además, la herramienta permitirá también al usuario ingresar otro valor asociado a la mortalidad evitada. Es así como la herramienta permite al usuario seleccionar entre 5 opciones para la valoración de mortalidad evitada:

- i. VSL ingresado usuario, con elasticidad del ingreso, η , ingresada por el usuario
- ii. VSL transferido OECD (η de acuerdo con el nivel ingresos)
- iii. VSL transferido USA (η de 1.5)
- iv. PIB per cápita*100
- v. PIB per cápita*160

6.2.5.1 Transferencia de VSL desde países OCDE

El documento del Banco Mundial elaborado por Narain y Sall (2016) propone una metodología de transferencia de VSL que se basa que en los resultados del estudio OECD (2012). El estudio OECD (2012) propone valores para la valoración económica de mortalidad para ser utilizados en políticas públicas medioambientales, de salud y de transporte. Narain y Sall (2016) proporciona recomendaciones específicas para el caso de efectos en salud derivados de la contaminación atmosférica.

Se propone implementar la transferencia de VSL propuesta en Narain y Sall (2016), ya que esta recomendación es específica para el caso de la contaminación atmosférica. La transferencia se implementa en dos pasos. Primero se actualiza el VSL de la OCDE de acuerdo al crecimiento del PIB per cápita e inflación, de acuerdo a la expresión (6-13) y luego transfiriendo el valor OCDE para los países de interés, ajustando de acuerdo a la relación entre los PIB per cápita del país de destino y países OCDE, utilizando la expresión (6-1).

$$VSL_{OCDE,t,2011PPP} = VSL_{OECD,2005} * \left(\frac{PIB_{OCDE,t}}{PIB_{OCDE,2005}} \right)^{0.8} * (1 + \% \Delta P_{2005,2011})^{0.8} \quad (6-13)$$

$$VSL_{c,t0} = VSL_{OCDE,t0} * \left(\frac{Y_{c,t0}}{Y_{OCDE,t0}} \right)^{\eta} \quad (6-14)$$

Donde:

c: país al que se transferirá el VSL

$VSL_{OCDE,2005}$: Mediana del VSL en países OCDE en 2005, en \$USD 2005 PPP

PIB: Propducto interno bruto en PPP

η : Elasticidad del ingreso en país *c*

$\% \Delta P$: inflación de acuerdo al IPC

t0: Año de inicio de la evaluación

El valor $VSL_{OCDE,2005}$ corresponde a 3 MMUSD para el año 2005 (OECD 2012) y η corresponde a la elasticidad el ingreso.

La Tabla 6-9 presenta las elasticidades del ingreso asumidas para cada país en análisis cuando se utiliza el método de transferencia desde países OCDE.

Tabla 6-9: Clasificación de países según nivel de ingresos del Banco Mundial y elasticidad del ingreso recomendada.

País	Clasificación país según ingresos ⁶	η
Perú	<i>Upper-middle-income</i>	1.2
Chile	<i>High-income</i>	0.8
México	<i>Upper-middle-income</i>	1.2
Colombia	<i>Upper-middle-income</i>	1.2

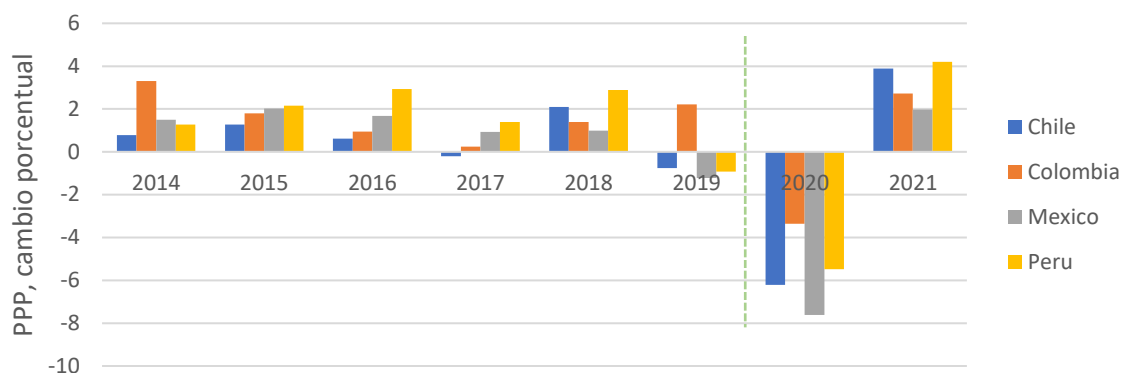
Fuente: En base a (Narain and Sall 2016)

Por último, el VSL se proyectará en el tiempo de acuerdo con el crecimiento esperado del PIB per cápita de cada uno de los países analizados. Se utilizarán las proyecciones del *World Economic Outlook* del Fondo Monetario Internacional, presentadas en la Figura 6-5 y la formula indicada en la expresión (6-15).

$$VSL_{c,t} = VSL_{c,t0} * \left(\frac{PIB_{c,t}}{PIB_{c,t0}} \right)^{\eta} \quad (6-15)$$

Figura 6-5: Cambios en PIB per cápita. Estimación a partir de 2020

⁶ Clasificación disponible en <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>



Fuente: Elaboración propia en base a World Economic Outlook Database, abril 2020

En la Figura 6-5, las cifras 2020 y 2021 corresponden a proyecciones del FMI. Para proyectar el PIB per cápita en el tiempo, desde 2021 en adelante, se asume que el crecimiento del PIB será igual al promedio del crecimiento entre los años 2016 a 2018. Se adopta este supuesto debido a se estima que el PIB 2020 tendrá a una fuerte contracción debido a la crisis global del COVID-19, mientras que el alto crecimiento estimado por el FMI para 2021 corresponde a la recuperación esperada luego de la crisis.

6.2.5.2 Transferencia de VSL desde Estados Unidos y otras recomendaciones de VSL

La herramienta incluye también las recomendaciones de la guía metodológica para el análisis beneficio-coste elaborada por Robinson et al. (2019). Dicha guía presenta también técnicas de transferencia de VSL, de acuerdo con el PIB per cápita del país (multiplicado por 160 y por 100), además de transferir el VSL extrapolado desde Estados Unidos con elasticidad de 1,5. Los valores indicados en la guía para Perú, México y Colombia se presentan en la Tabla 6-10.

Tabla 6-10: VSL promedio estimado para Perú, México y Colombia, Reference Case Guidelines for Benefit-Cost Analysis in Global Health and Development. \$USD 2015 PPP

VSL	Perú	México	Colombia
PIB per cápita	12,100	16,860	13,560
PIB per cápita *160	1,936,000	2,697,600	2,169,600
PIB per cápita*100	1,210,000	1,686,000	1,356,000
Transferido desde USA, elasticidad de 1,5	898,024	1,477,054	1,065,368

Fuente: Apéndice B, Robinson et al. (2019)

6.2.5.3 Valor presente

El valor presente de una serie de flujos en el tiempo, t , están dado por la sumatoria de los flujos descontados, como se indica en la expresión (6-16).

$$Valor\ presente_{T_VP} = \sum_{t=T_VP}^{TF} \frac{F_t}{(1 + r_t)^{t-T_VP}} \quad (6-16)$$

En la herramienta, el usuario puede ingresar el año para el cálculo del valor presente, T_{VP} , así como los años de inicio o año base, T_0 y año final de la evaluación TF .

La tasa de descuento, r_t , puede ser constante en el tiempo o variable en el tiempo. La práctica más habitual es considerar una tasa constante en el tiempo. Sin embargo, en proyectos cuando el horizonte de evaluación es largo y los beneficios ocurren mucho después de que se incurre en costos, algunos autores recomiendan tasas de descuento decrecientes o incluso cercanas a 0. Un estudio emblemático al respecto es el reporte *Stern Review: The Economics of Climate Change* (Stern 2007), en que la tasa de descuento utilizada es estocástica y en promedio de 1.4%, menor a lo utilizado en estudios previos relacionados con cambio climático.

La motivación de tasa de descuento cercanas a cero es considerar el bienestar de generaciones actuales y futuras con el mismo peso. Esto contrasta con una tasa de descuento alta, en que el bienestar (y costos a incurrir) de futuras generaciones tiene un menor peso que el bienestar (o costo) actual.

La herramienta ofrece al usuario las siguientes opciones de tasa de descuento:

- i. ingresada por el usuario, constante.
- ii. constante (por defecto), valores en columna “Valor 0” de la Tabla 6-11.
- iii. variable (por defecto), valores en las columnas “valor 0”, “Valor año 10” y “Valor año 20” de la Tabla 6-11.

Tabla 6-11: Tasas de descuento incluidas en la herramienta

País	Valor 0	Valor año 10	Valor Año 20	Fuente
Chile	6%	6%	5.05%	(Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile 2020), (Edwards 2016)
Colombia	5%	3%	3%	ANLA (2018)
Perú	8%	8%	4.40%	(Ministerio de Economía y Finanzas Perú 2018) (Lopez 2008)
México	3%	3%	3%	(Harvard T.H. Chan School of Public Health 2018)

Fuente: Elaboración propia

6.3 Análisis costo-beneficio

Luego de la estimación de los costos y beneficios, de acuerdo con lo indicado en las secciones anteriores, se procederá al análisis de los siguientes indicadores económicos: beneficios, costos, valor actual neto y la razón beneficio costo.

Todos los flujos de la evaluación serán llevados a términos anuales, para poder comparar costos con diferentes vidas útiles. Los costos de inversión serán anualizados de acuerdo con la fórmula (6-17).

$$I_a = \frac{I_0 * r * (1 + r)^{VU}}{(1 + r)^{VU} - 1} \quad (6-17)$$

Donde:

I_a : Inversión anualizada \$/año

I_0 : Inversión realizada en año 0

r : Tasa de descuento

VU : Vida útil (años)

Una vez calculados los flujos anuales, se calculará el valor presente neto de costos y beneficios desagregados. El valor presente de una serie de flujos en el tiempo, t , están dado por la sumatoria de los flujos descontados, como se indica en la expresión (6-18).

$$Valor\ presente_{2019} = \sum_{t=2019}^{2030} \frac{F_t}{(1 + r)^{t-2019}} \quad (6-18)$$

Una vez calculado el valor presente de los diferentes flujos de la evaluación (costos de inversión, de operación, beneficios, entre otros) se procederá al cálculo del valor actual neto, VAN, de la nueva normativa. El valor actual neto corresponderá a los beneficios menos los costos asociados a la regulación, como se indica en la expresión (6-19). Un VAN positivo indica una rentabilidad social positiva del proyecto, mientras que un VAN de cero indica indiferencia frente a la inversión y un VAN negativo implicaría un costo social.

$$Valor\ Actual\ Neto = Valor\ presente\ Beneficios - Valor\ presente\ Costos \quad (6-19)$$

La tasa de descuento utilizada para cada país son las indicadas en la Tabla 6-11 de la Sección 6.2.5.3.

Los tipos de cambio utilizados para cada país se presentan en la Tabla 6-12.

Tabla 6-12: Tipos de cambio utilizados, desde moneda local a dólares.

País	Valor	Unidad
------	-------	--------

Chile	\$ 763	clp/dolar
Colombia	\$ 3,730	cop/dolar
México	\$ 21	mxn/dolar
Perú	\$ 4	pen/dolar

Fuente: Elaboración propia

7 Referencias

- Apte, Joshua, Emilie Bombrun, Julian Marshall, and William Nazaroff. 2012. "Global Intraurban Intake Fractions for Primary Air Pollutants from Vehicles and Other Distributed Sources." *Environmental Science and Technology* 46 (6): 3415–23. <https://doi.org/10.1021/es204021h>.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2018. "Propuesta Para La Definición de Una Tasa Ambiental de Descuento En El Marco Del Licenciamiento Ambiental Colombiano."
- Burnett, Richard, Hong Chen, Mieczysław Szyszkowicz, Neal Fann, Bryan Hubbell, Arden Pope, Joshua Apte, et al. 2018. "Global Estimates of Mortality Associated with Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (38): 9592–97. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>.
- CONAPO. 2020. "Datos Abiertos de México - Proyecciones de La Población de México y de Las Entidades Federativas, 2016-2050." 2020. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>.
- DANE. 2020. "Proyecciones de Población." 2020. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- Edwards, Gonzalo. 2016. "Estimación de La Tasa Social de Descuento a Largo Plazo En El Marco de Los Sistemas Nacionales de Inversión. Aplicación Al Caso Chileno." *Scielo* 83 (329). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2016000100099.
- Fantke, Peter, Olivier Jolliet, Joshua Apte, Natasha Hodas, John Evans, Charles Weschler, Katerina Stylianou, Matti Jantunen, and Thomas McKone. 2017. "Characterizing Aggregated Exposure to Primary Particulate Matter: Recommended Intake Fractions for Indoor and Outdoor Sources." *Environmental Science & Technology* 51 (16): 9089–9100. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02589>.
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators. 2017. "Global, Regional, and National Comparative Risk Assessment of 84 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks, 1990-2016: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2016." *The Lancet* 390 (10100): 1345–1422. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8).
- GreenLabUC. 2011. "Co-Beneficios de La Mitigacion de GEI." Sanitago.
- . 2014. "Estimación Del Valor de La Vida Estadística Asociado a Contaminación Atmosférica y Accidentes de Tránsito." Santiago, Chile.
- Harvard T.H. Chan School of Public Health. 2018. "Análisis Histórico de Los Beneficios En La Salud de La Población Asociados a La Calidad Del Aire En La Ciudad de México Entre 1990 y 2015."
- Hoek, Gerard, Ranjini M Krishnan, Rob Beelen, Annette Peters, Bart Ostro, Bert Brunekreef, and Joel D Kaufman. 2013. "Long-Term Air Pollution Exposure and Cardio- Respiratory Mortality: A Review." *Environmental Health* 12 (1): 43. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>.
- Humbert, Sebastien, Julian Marshall, Shanna Shaked, Joseph Spadaro, Yurika Nishioka, Philipp Preiss, Thomas McKone, Arpad Horvath, and Olivier Jolliet. 2011. "Intake Fraction for Particulate Matter: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment." *Environmental Science & Technology* TA - TT

- 45 (11): 4808.

INEI, UNFPA, and CEPAL. 2019. "Perú: Estimaciones y Proyecciones de La Población Nacional, 1950-2070."

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1665/index.html.

Institute for Health Metrics and Evaluation. 2018. "GBD 2017 Results Tool."

<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

International Council on Clean Transportation. 2019. "A Global Snapshot of the Air Pollution-Related Health Impacts of Transportation Sector Emissions in 2010 and 2015." www.theicct.org.

Ministerio de Desarrollo Social. 2017. "Estimación Del Valor de La Vida. Estadística En Chile a Través Del Enfoque de Disposición a Pagar." Santiago, Chile.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile. 2020. "Precios Sociales 2020."

Ministerio de Economía y Finanzas Perú. 2018. "Anexo N° 11: Parámetros de Evaluación Social."

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf.

Ministerio de Planificación. 2011. "Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales Por Disminución de Accidentes Den Proyectos de Vialidad Interurbana."

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. 2015. "Análisis General Del Impacto Económico y Social Del Anteproyecto Del Plan de Prevención y Descontaminación de La Región Metropolitana."

http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/338-374_AGIES.pdf.

Narain, Urvashi, and Christopher Sall. 2016. "Methodology for Valuing the Health Impacts of Air Pollution: Discussion of Challenges and Proposed Solutions." *World Bank*, 1–69.

<https://doi.org/10.1596/K8849>.

OECD. 2012. "Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies."

https://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthandtransportpolicies.htm#How_to_obtain_this_publication.

Robinson, Lisa, James Hammitt, Michele Cecchini, Kalipso Chalkidou, Karl Claxton, Maureen Cropper, Patrick Hoang-Vu Eozenou, et al. 2019. "Reference Case Guidelines for Benefit-Cost Analysis in Global Health and Development." <https://sites.sph.harvard.edu/bcaguidelines/methods-and-cases/>.

Seminario de Marzi, Luis Bruno. 2017. "Estimación Del Costo Por Fallecimiento Prematuro."

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/parametros_evaluacion_social/Valor_Estadistico_Vida.pdf.

Stern, Nicholas. 2007. "Stren Review: The Economics of Climate Change."

http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/homepage/stern_050307.pdf.

US EPA, OA. n.d. "Mortality Risk Valuation."

WHO Regional Office for Europe. 2016. "Health Risk Assessment of Air Pollution. General Principles." Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1.

World Bank Group. 2019. "Population Estimates and Projections."

<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/population-estimates-and-projections>.

World Bank Group, and ESMAP. 2017. "The Energy Subsidy Reform Assessment Framework (ESRAF). Good Practice Note 8, Local Environmental Externalities Due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health."

<http://documents.worldbank.org/curated/en/677081531112268818/pdf/ESRAF-note-8-Local-Environmental-Externalities-due-to-Energy-Price-Subsidies-A-Focus-on-Air-Pollution-and-Health.pdf>.

World Health Organization. 2018. "Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2016 Description of Method." http://www.who.int/airpollution/data/AAP_BoD_methods_Apr2018_final.pdf?ua=1.