

## MANUAL DE USO



Programa Clima y Aire limpio  
en Ciudades de América Latina



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

Cooperación Internacional - COSUDE  
Hub Regional Lima



## MANUAL DE HEMAQ+

# HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA MIGRACIÓN A NORMAS DE EMISIONES PARA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (NON- ROAD)



*Costo-Beneficio de  
Escenarios Normativos  
para Maquinaria.*



Edición 2021

*Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ es un Programa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, ejecutado por Swisscontact en Chile, Colombia, México y Perú.*

## **MANUAL DE HEMAQ+ - Herramienta para el Análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera (Non-Road)**

Esta publicación ha sido preparada en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 2), promovido por la Sección Clima, Reducción del Riesgo de Desastres y Medio Ambiente de la Cooperación Internacional de Suiza - COSUDE, desde el Hub Regional Lima y y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact.

Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista y posición del Hub Regional Lima de la Cooperación Internacional de Suiza - COSUDE o de sus socios. Este documento puede contener enlaces a sitios web externos sobre los cuales la Cooperación Internacional de Suiza – COSUDE no tiene control y por los cuales no asume responsabilidad.

Elaborado por:

**Paulina Estela Schulz Antipa**  
Consultor del Programa

Revisado por:

**Adrián Montalvo**  
Director Programa CALAC+

**Helberth Santiago Morales Pinilla**  
Coordinador Non-Road CALAC+

Imagen de Portada: N/A  
Edición: Junio 2021

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

## Índice de Contenidos

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lista de acrónimos, abreviaciones, unidades y notación.....                                     | 2  |
| 1    Antecedentes .....                                                                         | 6  |
| 2    Introducción a HEMAQ .....                                                                 | 7  |
| 2.1    Tiempos de ejecución de macros.....                                                      | 8  |
| 3 <i>Check-lists</i> para el uso de la herramienta .....                                        | 10 |
| 4    Uso intermedio: Configuración de escenarios en HEMAQ .....                                 | 12 |
| 4.1    Hoja “Principal” .....                                                                   | 12 |
| 4.1.1    Sección I pestaña Principal, calculo emisiones para 1 año .....                        | 12 |
| 4.1.2    Sección II pestaña Principal, análisis costo-beneficio .....                           | 14 |
| 4.2    Hoja “LB y escenarios países” .....                                                      | 18 |
| 4.3    Hoja “Sensibilidad” .....                                                                | 20 |
| 5    Uso avanzado: pestañas de cálculo, pestañas de datos y preparación de bases de datos ..... | 22 |
| 5.1    Pestañas de cálculos .....                                                               | 22 |
| 5.1.1    Hoja “ACB” .....                                                                       | 22 |
| 5.1.2    Hoja “Calculo em” .....                                                                | 23 |
| 5.1.3    Hoja “Calculo Costos” .....                                                            | 24 |
| 5.1.4    Hoja “Calc Salud” .....                                                                | 25 |
| 5.2    Pestañas de resultados .....                                                             | 30 |
| 5.2.1    Hoja “TD em” .....                                                                     | 31 |
| 5.2.2    Hoja “TD para costos” .....                                                            | 32 |
| 5.2.3    Hoja “BD costos” .....                                                                 | 33 |
| 5.2.4    Hoja “BD em” .....                                                                     | 33 |
| 5.2.5    Hoja “Resultados emisiones” .....                                                      | 34 |
| 5.2.6    Hoja “Resultados parque” .....                                                         | 35 |
| 5.2.7    Hoja “Parque nacional” .....                                                           | 36 |
| 5.2.8    Hoja “Resultados costos” .....                                                         | 36 |
| 5.3    Pestañas de datos y auxiliares .....                                                     | 37 |
| 5.3.1    Hoja “Parametros” .....                                                                | 38 |
| 5.3.2    Hoja “Dicc” .....                                                                      | 38 |

|        |                                                                                       |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.3  | Hoja “FE” .....                                                                       | 39  |
| 5.3.4  | Hoja “Costos unitarios” .....                                                         | 40  |
| 5.3.5  | Hoja “Distrib geografica” .....                                                       | 40  |
| 5.3.6  | Hoja “Población” .....                                                                | 41  |
| 5.3.7  | Hoja “Tasas incidencia” .....                                                         | 42  |
| 5.3.8  | Hoja “Cal aire” .....                                                                 | 45  |
| 5.3.9  | Hoja “iFs CMs” .....                                                                  | 47  |
| 5.3.10 | Hoja “RR” .....                                                                       | 48  |
| 5.3.11 | Hoja WEO .....                                                                        | 50  |
| 5.3.12 | Hoja Otros .....                                                                      | 52  |
| 5.3.13 | Hoja “Aux” .....                                                                      | 54  |
| 6      | Anexos metodológicos.....                                                             | 56  |
| 6.1    | Relación entre emisiones y concentraciones.....                                       | 56  |
| 6.1.1  | Fracciones de consumo o <i>intake fractions</i> .....                                 | 56  |
| 6.1.2  | Factores emisión concentración, Chile .....                                           | 60  |
| 6.2    | Metodología de impactos en salud.....                                                 | 63  |
| 6.2.1  | Metodología general.....                                                              | 63  |
| 6.2.2  | Funciones concentración-respuesta .....                                               | 65  |
| 6.2.3  | Proyecciones de población hasta 2050.....                                             | 66  |
| 6.2.4  | Tasas de mortalidad, de años de vida perdidos y de años vividos con discapacidad..... | 68  |
| 6.2.5  | Valoración de la mortalidad prematura evitada.....                                    | 68  |
| 6.3    | Análisis costo-beneficio .....                                                        | 74  |
| 6.4    | Metodología para maquinaria móvil no de carretera (HEMAQ) .....                       | 75  |
| 6.4.1  | Metodología de cálculo emisiones .....                                                | 76  |
| 6.4.2  | Caracterización de la flota de línea base. ....                                       | 79  |
| 6.4.3  | Distribución geográfica de la flota .....                                             | 79  |
| 6.4.4  | Proyección de la flota.....                                                           | 84  |
| 6.4.5  | Metodología para costos incrementales .....                                           | 93  |
| 6.4.6  | Tecnologías maquinarias de acuerdo a estándares de emisión. ....                      | 97  |
| 6.4.7  | Valorización de CO <sub>2</sub> eq evitado.....                                       | 98  |
| 6.4.8  | Distribución costos y beneficios según agente .....                                   | 99  |
| 7      | Referencias.....                                                                      | 100 |

## 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)                                                     |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|             |                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| 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 <sub>4</sub>      | Metano                                                                                         |
| CO                   | Monóxido de carbono                                                                            |
| CO <sub>2</sub>      | Dióxido de carbono                                                                             |
| COVNM                | Compuestos orgánicos volátiles no metánicos                                                    |
| GEI                  | Gases de efecto invernadero                                                                    |
| N <sub>2</sub> O     | Óxido nitroso                                                                                  |
| NH <sub>3</sub>      | Amoníaco                                                                                       |
| NO <sub>x</sub>      | Óxidos de nitrógeno                                                                            |
| PM                   | Material particulado (por sus siglas en inglés)                                                |
| PM <sub>2.5</sub>    | Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µg/m <sup>3</sup>                 |
| PM <sub>10-2.5</sub> | Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 10 y superior a 2.5 µg/m <sup>3</sup> |
| SO <sub>2</sub>      | 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> ) |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|         |                                                                                                                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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> )                                                                                       |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|      |                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 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 <sup>2</sup>           | 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 |



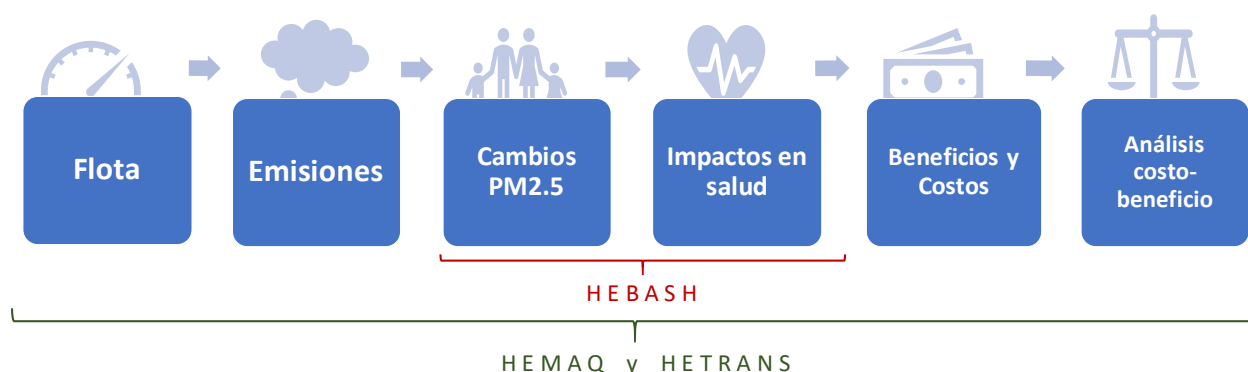
## 1 Antecedentes

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<sub>2.5</sub>, NOx y SO<sub>2</sub> o bien a partir de cambios en concentración de PM<sub>2.5</sub>, 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<sub>2.5</sub>, 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

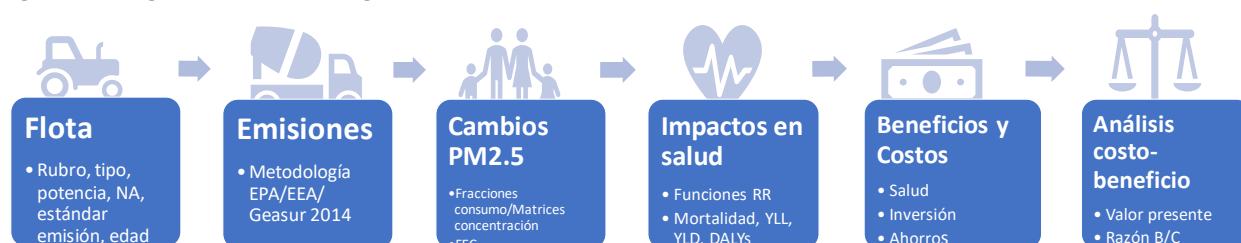
El presente reporte tiene como objetivo introducir el uso intermedio y avanzado de la herramienta HEMAQ. Las metodologías, fuentes de información y supuestos utilizados, correspondiente al estudio “Análisis del Impacto Económico y Ambiental de las Medidas en las que el Programa CALAC+ Contribuye para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

## 2 Introducción a HEMAQ

La herramienta HEMAQ corresponde a una *Herramienta para el análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera (Non-Road)*.

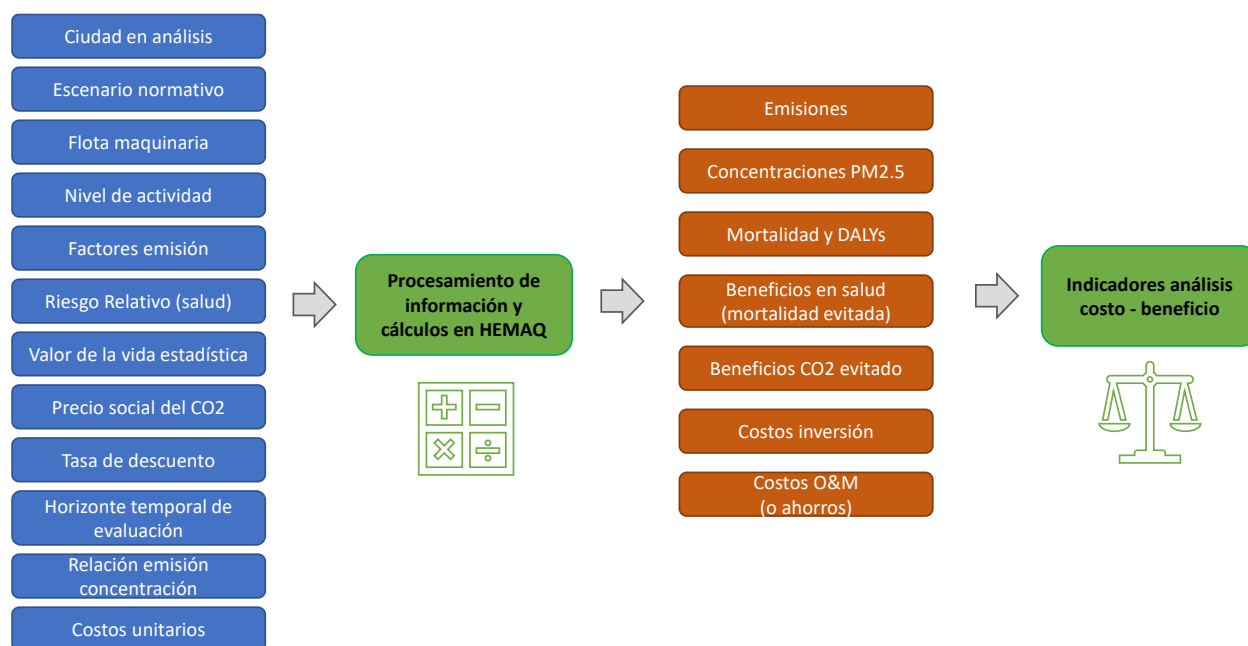
La herramienta, a partir de la caracterización de la flota de maquinaria, estima las emisiones para los escenarios de línea base y normativo. A partir de la reducción de emisiones, se estima los cambios en concentraciones ambientales de PM<sub>2.5</sub> y consecuentes impactos en salud humana en la zona de análisis. La herramienta también estima los costos asociados a inversión y operación de las nuevas tecnologías, los que finalmente contrasta con los beneficios asociados en un análisis costo-beneficio. La Figura 2-1 presenta un diagrama de la metodología utilizada en HEMAQ.

Figura 2-1: Diagrama de la metodología utilizada en HEMAQ



Como se presenta en la Figura 2-2, HEMAQ recibe una serie de insumos, precargados y configuraciones del usuario, que se traducen finalmente en los indicadores del análisis costo-beneficio.

Figura 2-2. Diagrama de inputs y outputs de HEMAQ.

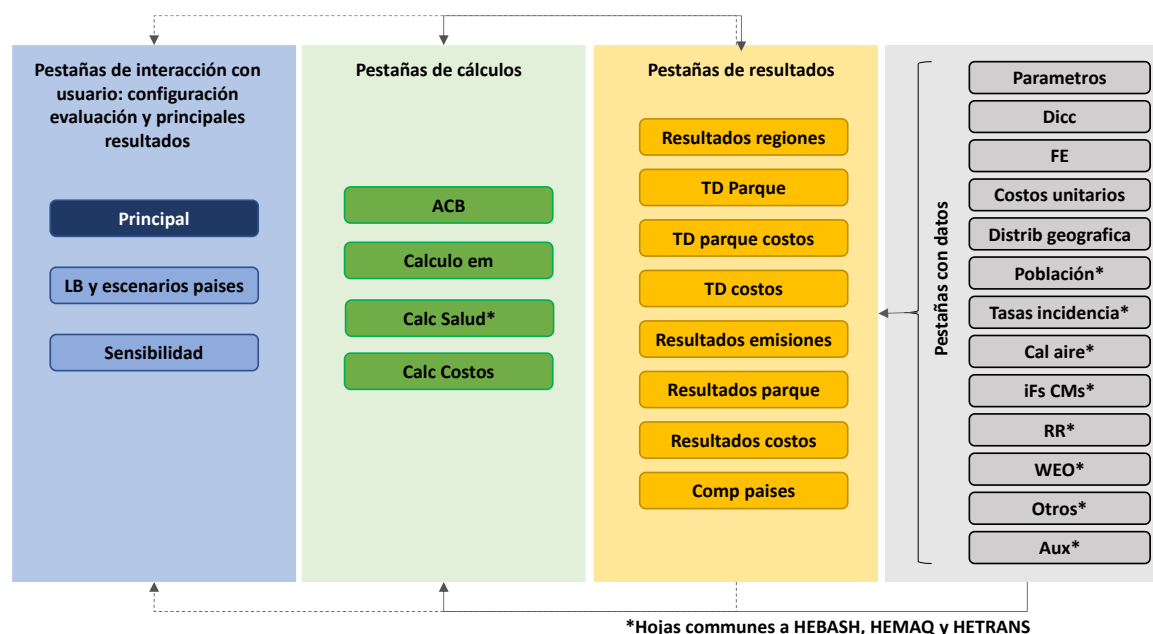


La metodología aplicada y fuentes de información se encuentran detallados en la sección de anexos. La relación entre emisiones y concentraciones de describe la sección 6.1, los impactos en salud y funciones de riesgo relativo se describen en 6.2, la valoración de la mortalidad evitada se documenta en 6.2.5, el

análisis costo beneficio y sus indicadores de describen en 6.3, el cálculo de emisiones se describe en 6.4.1, la metodología de costos se incluye en 6.4.5, la valorización del CO2 evitado en 6.4.7.

La Figura 2-3 presenta un diagrama de la interacción de las hojas de cálculo o pestañas en HEMAQ. Las dos pestañas principales corresponden a la pestaña “Principal” y a la pestaña “LB y escenarios países”. HEMAQ contiene también pestañas con datos de entrada (en gris en la figura), las que son utilizadas en las pestañas de cálculos (en verde) y en las pestañas de resultados (en amarillo). Dichas pestañas se describen en las secciones siguientes de este capítulo.

Figura 2-3. Hojas de cálculo o “pestañas” en la herramienta HEMAQ



Además de las hojas de cálculo presentadas en la Figura 2-3, HEMAQ cuenta con una pestaña llamada “Leeme”, en la que se introduce la metodología utilizada en la herramienta y las pestañas “Calculos->”, “Resultados ->” y “Datos->”, que simplemente sirven de separación entre distintos tipos de pestañas en la planilla.

Cabe mencionar que existe una versión de la planilla HEMAQ para cada país (Colombia, Chile, México y Perú), debido al tamaño de la base de datos de maquinaria utilizada en cada país la evaluación.

### 2.1 Tiempos de ejecución de macros

La ejecución de los macros puede tardar varios minutos en ejecutar. El tiempo de ejecución varía entre las planillas de los diferentes países y dependerá también de las características el computador en donde se ejecuten. La Tabla 2-1 presenta los tiempos aproximados de ejecución para un computador de las siguientes características:

- Procesador: Intel Core i7-7600U CPU @ 2.80GHz 2.90 GHz
- Memoria RAM: 16.0 GB (15.8 usable)
- Tipo de sistema: 64-bit

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Tabla 2-1: Tiempos de ejecución análisis en HEMAQ

| Ubicación planilla | Macro                                       | Descripción                                                                                                             | Tiempo de Ejecución                                                             |
|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Principal          | Actualizar                                  | Actualiza resultados del inventario de emisiones para 1 año de acuerdo a los parámetros seleccionados                   | Algunos segundos                                                                |
|                    | Calcula emisiones y costos                  | Calcula emisiones para línea base y escenario normativo hasta 2050. Calcula beneficios, costos, e indicadores para ACB. | Chile y Colombia: <b>5 min</b><br>México: <b>10 min</b><br>Perú: <b>9 min</b>   |
| Sensibilidad       | Ejecuta sensibilidad TODOS                  | Ejecuta todos los análisis de sensibilidad disponibles                                                                  | Chile y Colombia: <b>23 min</b><br>México: <b>43 min</b><br>Perú: <b>40 min</b> |
|                    | Sensibilidad Curva retiro                   | Ejecuta el análisis de sensibilidad para la curva de retiro de la maquinaria                                            | Chile y Colombia: <b>20 min</b><br>México: <b>40 min</b><br>Perú: <b>37 min</b> |
|                    | Sensibilidad horizonte evaluacion           | Ejecuta el análisis de sensibilidad para el año final de la evaluación                                                  | 1 min                                                                           |
|                    | Sensibilidad VSL                            | Ejecuta el análisis de sensibilidad para distintas alternativas de VSL                                                  | 1 min                                                                           |
|                    | Sensibilidad tipo de mortalidad             | Ejecuta el análisis de sensibilidad al utilizar mortalidad para causas naturales o específicas                          | 1 min                                                                           |
|                    | Sensibilidad relacion emision-concentracion | Ejecuta el análisis de sensibilidad para los distintos tipos de relación emisión concentración disponibles.             | 1 min                                                                           |

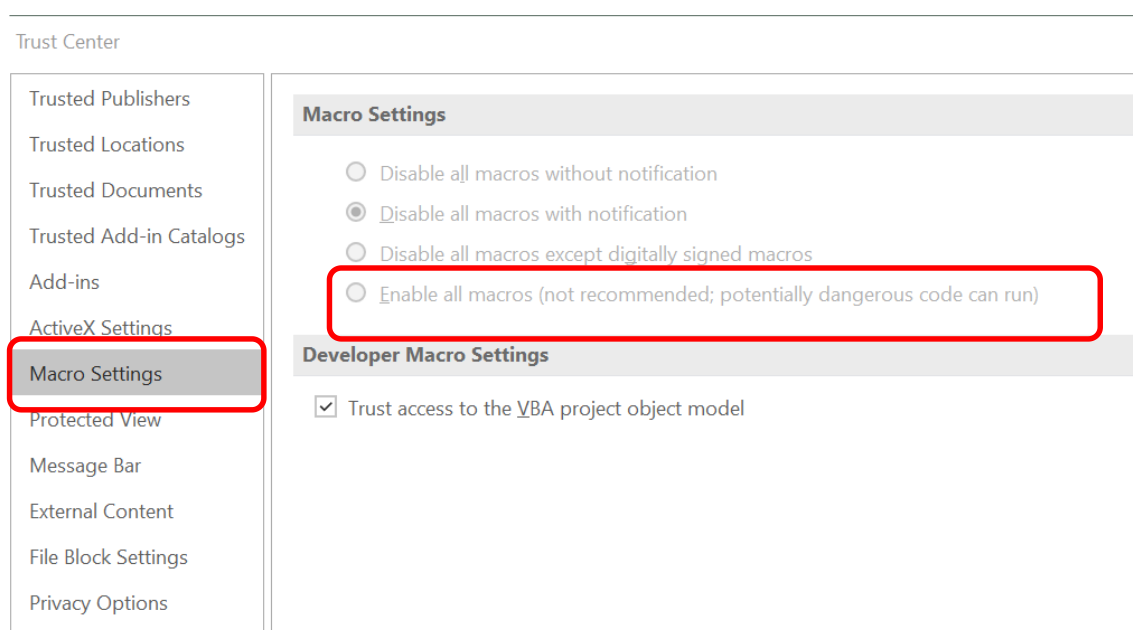
### 3 Check-lists para el uso de la herramienta

HEMAQ permite el cálculo de emisiones a nivel nacional y para 1 año (sección I de la hoja Principal) a la vez sin requerir del uso de macros. El análisis costo-beneficio (sección II de la hoja Principal) requiere del uso de macros, por lo que su uso debe estar habilitado en Excel.

Antes de utilizar la herramienta se recomienda lo siguiente:

- Crear una copia de trabajo y guardar un respaldo de la planilla original
- Para habilitar el uso de macros, se debe ingresar a las opciones de Excel, a “Centro de Confianza” o “Trust Center” e ingresar a las opciones de configuración (“Trust Center Settings...”). Luego se debe seleccionar la opción “Configuración de Macros” o “Macro Settings” y seleccionar “Habilitar todos” o “Enable all macros”.

Figura 3-1: Activar el uso de macros en Excel, dentro del “Trust Center”.



- Verificar que el escenario normativo sea más estricto que el escenario de línea base, en la pestaña “LB y escenarios países”. De lo contrario, no habría consistencia en los supuestos, ya que se asume que la línea base es in escenario de mayores emisiones.

Figura 3-2. Normativas asociadas al año de importación que aplicarían en la línea base y en el escenario de reducción, pestaña “LB y escenarios países”.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Estándar de Línea base                                              |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Estándar escenario de reducción              |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|
| ESTÁNDAR LINEA BASE                                                 |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | ESTÁNDAR ESCENARIO REDUCCION                 |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| De acuerdo a año de fabricación (desface manual, ingresado usuario) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Debe ser igual a la línea base. NO MODIFICAR |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Estándar EEA                                                        | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | Estándar EEA                                 | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 |
| Pre Stage I                                                         | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | Pre Stage I                                  | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       |
| Stage I                                                             | Tier 1       | 2009   | 2009    | 2008     | 2007     | 2007     | 2006      | 2005       | 2005       | 2005       | Stage I                                      | Tier 1       | 2009   | 2009    | 2008     | 2007     | 2007     | 2006      | 2005       | 2005       | 2005       |
| Stage II                                                            | Tier 2       | 2014   | 2014    | 2013     | 2013     | 2013     | 2012      | 2012       | 2010       | 2011       | Stage II                                     | Tier 2       | 2014   | 2014    | 2013     | 2013     | 2013     | 2012      | 2010       | 2011       | 2015       |
| Stage IIIA                                                          | Tier 3       |        |         |          |          |          | 2017      | 2016       | 2015       | 2015       | Stage IIIA                                   | Tier 3       |        |         |          |          | 2017     | 2016      | 2015       | 2015       | 2015       |
| Stage IIIB                                                          | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage IIIB                                   | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage IV                                                            | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage IV                                     | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage V                                                             |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage V                                      |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |

| De acuerdo a año de importación (normativa vigente en el país) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | De acuerdo a año de importación (normativa vigente en el país) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
|----------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|
| Estándar EEA                                                   | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | Estándar EEA                                                   | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 |
| Pre Stage I                                                    | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | Pre Stage I                                                    | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       |
| Stage I                                                        | Tier 1       |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage I                                                        | Tier 1       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage II                                                       | Tier 2       |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage II                                                       | Tier 2       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage IIIA                                                     | Tier 3       |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage IIIA                                                     | Tier 3       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage IIIB                                                     | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage IIIB                                                     | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage IV                                                       | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage IV                                                       | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |
| Stage V                                                        |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            | Stage V                                                        |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |

Escenario de reducción establece normativa Tier 4I en 2023, mientras que escenario de LB no contempla normativas a las maquinarias importadas

- Revisar cada una de las celdas modificables (en verde) y verificar que los supuestos seleccionados en los pasos 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 3-3.

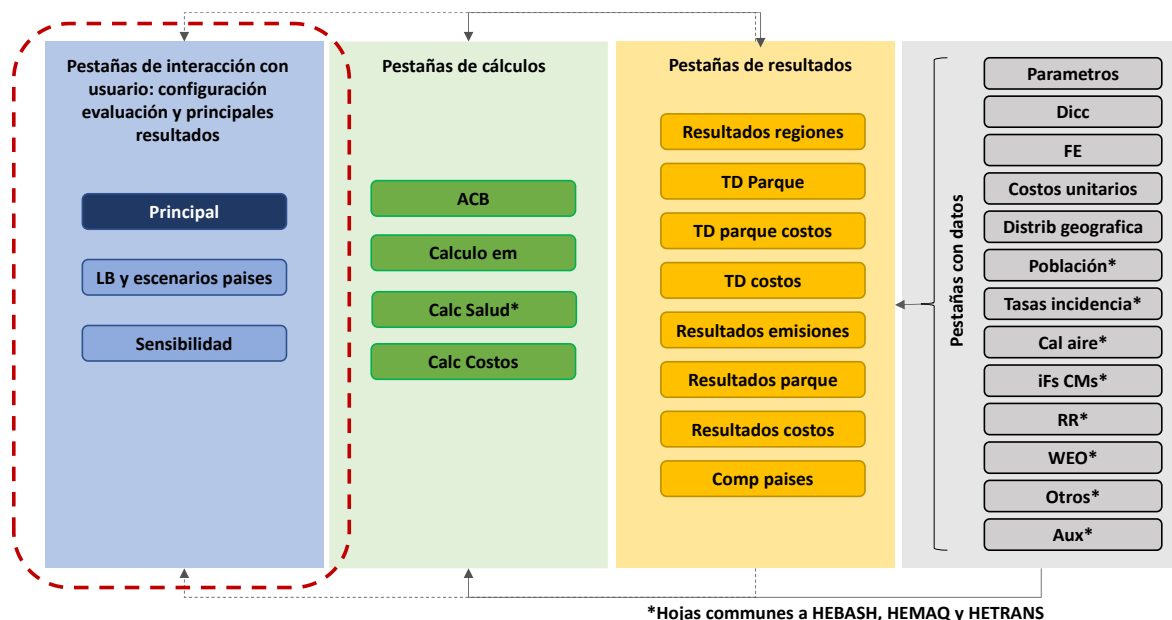
Figura 3-3. Resumen de supuestos utilizados, pestaña Principal.

| 217 | G                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Resumen de supuestos                        |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 218 | Zona del análisis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Bogotá                                      |
| 219 | Relación emisiones y concentraciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)         |
| 220 | Metodología causas específicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | RR GBD 2019                                 |
| 221 | Mortalidad para ACB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Causas naturales                            |
| 222 | Valor de la vida estadística                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | VSL ingresado usuario, \$411727 usd en 2018 |
| 223 | Precio social CO2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Colombia (\$5.27 dólares por tonelada)      |
| 224 | Tasa de descuento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | variable (por defecto), 5%                  |
| 225 | Horizonte de evaluación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2018-2030                                   |
| 226 | Año valor presente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2020                                        |
| 227 | Factores de emisión                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | EPA                                         |
| 228 | Nivel actividad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | NA CALAC/EPA                                |
| 229 | Retiro maquinaria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | EPA                                         |
| 230 | Normativa LB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Estándar ingresado usuario                  |
| 231 | Normativa Escenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Estándar ingresado usuario                  |
| 232 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                             |
| 233 | <p>Notas: i) Zona del análisis: Bogotá. ii) Relación emisiones y concentraciones: Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017). iii) Metodología cau usuario, \$411727 usd en 2018. vi) Precio social CO2: Colombia (\$5.27 dólares por tonelada). vii) Tasa de descuento: variable (por defe actividad: NA CALAC/EPA. xii) Retiro maquinaria: EPA. xiii) Normativa LB: Estándar ingresado usuario. xiv) Normativa Escenario: Están</p> |                                             |

## 4 Uso intermedio: Configuración de escenarios en HEMAQ

En esta sección se describen las hojas de la planilla HEMAQ en las que el usuario configura los escenarios a evaluar y se despliegan los principales resultados de la evaluación. Las hojas descritas son las siguientes: i) Principal, ii) LB y escenarios países y iii) Sensibilidad. La Figura 4-1 resalta las pestañas descritas en esta sección.

Figura 4-1. Esquema hojas en planilla HEMAQ, resaltando las hojas de interacción con el usuario.



### 4.1 Hoja “Principal”

La planilla HEMAQ, en su pestaña “Principal”, se divide en dos secciones:

- I. La primera sección, que no requiere de macros, calcula emisiones para 1 año y escenario determinado,
- II. La segunda sección lleva a cabo el análisis costo-beneficio para todo el periodo de evaluación y requiere del uso de macros.

A continuación, se explica el funcionamiento de ambas secciones.

#### 4.1.1 Sección I pestaña Principal, calculo emisiones para 1 año

La Figura 4-2 presenta una vista de la sección de ingreso de parámetros en HEMAQ.

Figura 4-2. Parámetros para el cálculo de emisiones a ingresar en la sección I de HEMAQ

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| INGRESO DE PARAMETROS Y RESULTADOS                            |                                             |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| I VARIABLES CALCULO EMISIONES PARA 1 AÑO (NO REQUIERE MACROS) |                                             |
| A Ingreso parámetros                                          |                                             |
| <b>PASO 1:</b>                                                | <b>Parámetros cálculo emisiones</b>         |
| Año calculo emisiones ->                                      | 2029                                        |
| Escenario calculo emisiones ->                                | Normativa                                   |
| Factores de emision ->                                        | EPA                                         |
| Fuente Nivel de Actividad ->                                  | NA CALAC/EPA                                |
| Retiro Maquinaria ->                                          | EPA                                         |
| Si retiro maquinaria es "Ingresado usuario"->                 | <a href="#">Ingresar retiro</a>             |
| Normativa de linea base ->                                    | Estándar ingresado usuario                  |
| Si "Estándar USA desfasado" ->                                | años                                        |
| Si "Estándar ingresado usuario"->                             | <a href="#">Ingresar estandar LB</a>        |
| Normativa escenario ->                                        | Estándar ingresado usuario                  |
| Si "Estándar USA desfasado" ->                                | años                                        |
| Si "Estándar ingresado usuario"->                             | <a href="#">Ingresar estandar normativo</a> |

Como se observa en la Figura 4-2, en la sección I, el usuario debe indicar los siguientes parámetros:

- Año para el cálculo de emisiones
- Escenario que se calculara
  - línea base o
  - normativa
- Factores de emisión a utilizar en el cálculo. Las opciones son las siguientes
  - EPA,
  - EEA o
  - Corinair Geasur 2014
- Fuente para el nivel de actividad de la maquinaria
  - EPA,
  - México, u
  - otro ingresado por el usuario
- Retiro maquinaria. Se puede seleccionar entre el retiro en base a:
  - metodología EPA,
  - mitad del retiro de acuerdo a tipología EPA,
  - sin retiro de maquinaria, u
  - otra curva de retiro indicada por el usuario
- Normativa para el escenario de línea base. HEMAQ presenta 3 opciones:
  - Desface respecto a la normativa vigente en Estados Unidos,
  - ingreso por parte del usuario, o
  - estándar original indicado en la base de datos recibida
- Normativa para el escenario normativo. HEMAQ presenta 2 opciones:
  - Desface respecto a la normativa vigente en Estados Unidos, o



## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

- ingreso por parte del usuario

Luego de seleccionar las opciones para el cálculo de emisiones, el usuario debe actualizar la planilla, para que los cambios realizados se reflejen en las tablas y gráficos. La Figura 4-3 presenta una captura de pantalla del paso 2 en la sección I de HEMAQ, necesario para el cálculo de las emisiones, de acuerdo a los supuestos seleccionados.

Figura 4-3: Vista del paso 2, en la sección I de HEMAQ

**PASO 2:** PRESIONAR "ACTUALIZAR todo" en pestaña "Datos" o boton "Actualizar" (requiere macros)



Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2 Sección II pestaña Principal, análisis costo-beneficio

La sección II de HEMAQ requiere el uso de macros y realiza el análisis costo beneficio de la ciudad en cuestión (indicada en la celda F65 de la pestaña Principal) para todo el periodo de evaluación, hasta el año 2050.

Figura 4-4: Parámetros para el análisis costo-beneficio a ingresar en HEMAQ

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| II VARIABLES ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (REQUIERE USO DE MACROS)                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A Datos modificables por el usuario                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>PASO 1</b> <u>Selección sectores afectados</u>                                                                | <div>Bogotá, Colombia</div> <div> <input type="checkbox"/> Agrícola           <input checked="" type="checkbox"/> Forestal           <input checked="" type="checkbox"/> Construcción           <input checked="" type="checkbox"/> Industrial           <input checked="" type="checkbox"/> Minería         </div> |
| <b>PASO 2</b> <u>Relación emisiones-concentraciones</u>                                                          | <div>Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)</div> <div>* Para Chile, seleccionar "FEC - Chile"</div>                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>PASO 3</b> <u>Selección fuente función riesgo relativo (FR)</u>                                               | <div>RR "causas específicas"</div> <div>RR GBD 2019</div>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>PASO 4</b> <u>Selección de tipo de mortalidad a utilizar para ACB</u>                                         | <div>Causas naturales</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>PASO 5</b> <u>Selección de valor de la vida estadística (VSL) a utilizar</u>                                  | <div>VSL</div> <div>VSL transferido OECD (n=nivel ingresos)</div> <div>VSL ingresado usuario (USD)</div> <div>Elasticidad ingreso para VSL ingresado</div> <div> <div>\$ 600,000</div> <div>USD 2018</div> <div>1</div> </div>                                                                                      |
| <b>PASO 6</b> <u>Precio social del CO2</u>                                                                       | <div>Global (\$60 dólares por tonelada)</div> <div>Valor ingresado usuario (USD) --&gt;</div> <div>20</div>                                                                                                                                                                                                         |
| <b>PASO 7</b> <u>Tasa de descuento</u>                                                                           | <div>constante (por defecto)</div> <div>Si "ingresada usuario" --&gt;</div> <div>6%</div> <div>Ingresar con símbolo de porcentaje. Ejemplo: 7%</div>                                                                                                                                                                |
| <b>PASO 8</b> <u>Horizonte temporal evaluación</u>                                                               | <div>Año inicial (T0)</div> <div>Año Final (TF)</div> <div>Año para cálculo del valor presente</div> <div> <div>2018</div> <div>2050</div> <div>2020</div> </div>                                                                                                                                                   |
| <b>PASO 9</b> Presionar boton "Calcula emisiones y costos" para ejecutar el análisis (tiempo de ejecución 5 min) | <div>Calcula emisiones y costos</div>                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Fuente: Elaboración propia

En la pestaña "Principal" de la planilla de cálculo el usuario debe ingresar los supuestos de la evaluación (como se describe más adelante). En la sección de introducción, la Figura 2-3 presenta un diagrama de la interacción de las hojas de cálculo o pestañas en HEMAQ.

La utilización de la planilla requiere por parte del usuario completar los pasos 1 a 9 indicados en la hoja "Principal".

- El **PASO 1**. El usuario puede verificar que la zona de interés en análisis y seleccionar los rubros que estarán afectados a la regulación, como se presenta en Figura 4-5.

Figura 4-5: PASO 1 en HEMAQ, selección de los rubros afectados a la regulación

**II VARIABLES ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (REQUIERE USO DE MACROS)**

**A Datos modificables por el usuario**

**PASO 1**      **Seleccionar sectores afectados**

Seleccionar -->

Bogotá

☐ Agrícola    ☒ Forestal    ☒ Construcción    ☒ Industrial    ☒ Minería

- El **PASO 2** 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 4-6.

Figura 4-6: PASO 2 en HEMAQ, indicar relación entre emisiones y concentraciones a utilizar

**PASO 2**      **Relación emisiones-concentraciones**

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 3**, 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 4-7 presenta la selección de la función de riesgo relativo en HEMAQ.

Figura 4-7: PASO 3 en HEMAQ, selección de fuente para cálculo de riesgo relativo.

**PASO 3**      **Seleccionar fuente función riesgo relativo (RR)**

RR "causas específicas"

RR Burnett 2018

RR GBD 2015-2016

RR GBD 2017

RR GBD 2019

RR Burnett 2018

- En el **PASO 4**, el usuario debe seleccionar el tipo de mortalidad a ser utilizado para el cálculo de beneficios en salud, como se indica en la Figura 4-8.

Figura 4-8: PASO 4 en HEMAQ, selección del tipo de mortalidad a utilizar en el ACB.

**PASO 4**      **Selección de tipo de mortalidad a utilizar para ACB**

Seleccionar -->

Causas naturales

Causas específicas

Causas naturales

- El **PASO 5** 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 con el crecimiento del PIB per cápita real y a la elasticidad del ingreso indicada. La Figura 4-9 presenta la selección o ingreso de datos en HEMAQ.

Figura 4-9: PASO 5 en HEMAQ, selección de VSL a transferir o ingreso de VSL

**PASO 5**      **Selección de valor de la vida estadística (VSL) a utilizar**

|                                        |                                                    |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| VSL                                    | <input type="text" value="VSL ingresado usuario"/> |
| VSL ingresado usuario (USD)            | <input type="text" value="\$ 411,727"/> USD 2018   |
| Elasticidad ingreso para VSL ingresado | <input type="text" value="1.2"/>                   |

- En **PASO 6** el usuario debe ingresar el precio social del CO2, seleccionado alguna de las opciones en la lista desplegable o bien ingresando un valor manualmente. La metodología asociada a este paso se describe en la sección 6.4.7 de Anexos.

Figura 4-10. PASO 6 en HEMAQ, selección del precio social del CO2

**PASO 6**      **Precio social del CO2**

|                                   |                                                                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Seleccionar -->                   | <input type="text" value="Colombia (\$5.27 dólares por tonelada)"/> |
| Valor ingresado usuario (USD) --> | <input type="text" value="Perú (\$7.17 dólares por tonelada)"/>     |

- El **PASO 7** requiere de la selección de la tasa de descuento por parte del usuario, como se presenta en la Figura 4-11. HEMAQ 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 HEMAQ y la Tabla 6-11 resume las tasas para cada país y las referencias de información.

Figura 4-11: PASO 7 en HEMAQ, selección o ingreso de la tasa de descuento.

**PASO 7**      **Tasa de descuento**

|                            |                                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Seleccionar -->            | <input type="text" value="variable (por defecto)"/>                 |
| Si "ingresada usuario" --> | <input type="text" value="8%"/> Ingresar con símbolo de porcentaje. |

- 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 4-12 presenta el PASO 8 en HEMAQ.

Figura 4-12: PASO 8 en HEMAQ, indicar horizonte de evaluación

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

**PASO 8**    **Indicar horizonte temporal evaluación**

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

- Por último, **PASO 9** en HEMAQ, ejecutar el cálculo de emisiones presionando el botón “Calcula emisiones y costos”, presentado en la Figura 4-13.

Figura 4-13. PASO 9 en HEMAQ, ejecutar el cálculo de emisiones presionando

**PASO 9**    Presionar boton "Calcula emisiones y costos" para ejecutar el análisis (tiempo de ejecución 5 min)

Calcula emisiones y costos

El tiempo de ejecución es de entre 4 (Colombia) y 20 minutos (México), pero dependerá del país en cuestión (tamaño del parque proyectado) y de la capacidad del computador donde se ejecute el cálculo.

## 4.2 Hoja “LB y escenarios países”

Esta pestaña de HEMAQ es donde el usuario debe configurar las normativas que se considerarán como parte de la línea base y como parte del escenario de reducción, siempre que en la hoja “Principal” se haya seleccionado “Estándar ingresado usuario”, como se muestra en la Figura 4-14.

Figura 4-14. Vista pestaña principal, configuración de escenarios normativos.

|    |                                                               |                                             |
|----|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1  | INGRESO DE PARAMETROS Y RESULTADOS                            |                                             |
| 2  | I VARIABLES CALCULO EMISIONES PARA 1 AÑO (NO REQUIERE MACROS) |                                             |
| 3  | A Ingreso parámetros                                          |                                             |
| 4  | <b>PASO 1: Parámetros cálculo emisiones</b>                   |                                             |
| 5  | Año calculo emisiones ->                                      | 2029                                        |
| 6  |                                                               |                                             |
| 7  | Escenario calculo emisiones ->                                | Normativa                                   |
| 8  |                                                               |                                             |
| 9  | Factores de emision ->                                        | EPA                                         |
| 10 |                                                               |                                             |
| 11 | Fuente Nivel de Actividad ->                                  | NA CALAC/EPA                                |
| 12 |                                                               |                                             |
| 13 | Retiro Maquinaria ->                                          | EPA                                         |
| 14 |                                                               |                                             |
| 15 | Si retiro maquinaria es "Ingresado usuario"->                 | <a href="#">Ingresar retiro</a>             |
| 16 |                                                               |                                             |
| 17 | Normativa de linea base ->                                    | Estándar ingresado usuario                  |
| 18 | Si "Estándar USA desfasado" ->                                | años                                        |
| 19 | Si "Estándar ingresado usuario"->                             | <a href="#">Ingresar estandar LB</a>        |
| 20 |                                                               |                                             |
| 21 | Normativa escenario ->                                        | Estándar ingresado usuario                  |
| 22 | Si "Estándar USA desfasado" ->                                | años                                        |
| 23 | Si "Estándar ingresado usuario"->                             | <a href="#">Ingresar estandar normativo</a> |

Se debe ingresar la vigencia normativa en la pestaña “LB y escenarios países”

El ingreso manual de las normativas implica llenar la información de 3 tablas en la hoja “LB y escenarios países” (celdas en verde):

- Estándar de línea base de acuerdo con el año de fabricación
- Estándar de línea base de acuerdo con el año de importación
- Estándar escenario de reducción, de acuerdo con el no de importación

La Figura 4-15 presenta una vista de las tablas en que se debe indicar el año de vigencia normativa para cada potencia.

Figura 4-15. Normativas asociadas al año de importación que aplicarían en la línea base y en el escenario de reducción, pestaña “LB y escenarios países”.

La normativa importada ya cumpliría con un estándar de emisión de acuerdo a su año de fabricación, a pesar de no existir norma vigente

| Normativa Ingresada por el usuario                                  |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | ESTANDAR ESCENARIO REDUCCION                 |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------|----------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------|
| ESTANDAR LINEA BASE                                                 |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Debe ser igual a la línea base. NO MODIFICAR |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| De acuerdo a año de fabricación (desfase manual, ingresado usuario) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |                                              |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Estándar EEA                                                        | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | >560 | Estándar EEA                                 | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | >560 |
| Pre Stage I                                                         | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | 1900 | Pre Stage I                                  | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | 1900 |
| Stage I                                                             | Tier 1       | 2009   | 2009    | 2008     | 2007     | 2007     | 2006      | 2005       | 2005       | 2005       | 2009 | Stage I                                      | Tier 1       | 2009   | 2009    | 2008     | 2007     | 2007     | 2006      | 2005       | 2005       | 2005       | 2009 |
| Stage II                                                            | Tier 2       | 2014   | 2014    | 2013     | 2013     | 2013     | 2012      | 2012       | 2010       | 2011       | 2015 | Stage II                                     | Tier 2       | 2014   | 2014    | 2013     | 2013     | 2013     | 2012      | 2012       | 2010       | 2011       | 2015 |
| Stage IIIA                                                          | Tier 3       |        |         |          |          |          | 2017      | 2016       | 2015       | 2015       |      | Stage IIIA                                   | Tier 3       |        |         |          |          |          | 2017      | 2016       | 2015       | 2015       |      |
| Stage IIIB                                                          | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage IIIB                                   | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage IV                                                            | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage IV                                     | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage V                                                             |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage V                                      |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |

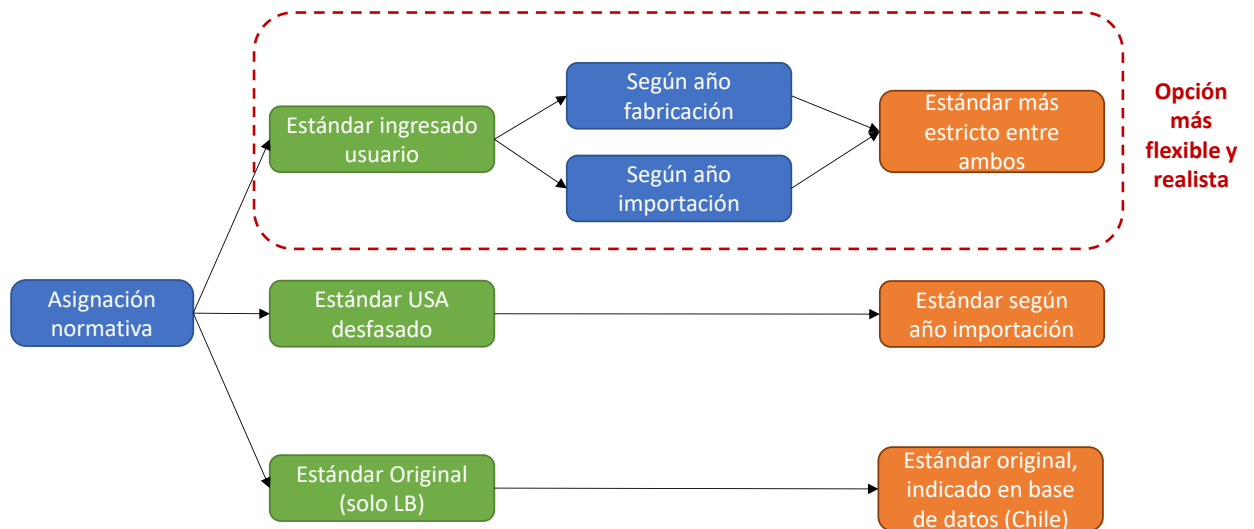
  

| De acuerdo a año de importación (normativa vigente en el país) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | De acuerdo a año de importación (normativa vigente en el país) |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
|----------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------|----------------------------------------------------------------|--------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------|
| Estándar EEA                                                   | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | >560 | Estándar EEA                                                   | Estándar EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 A 560 | >560 |
| Pre Stage I                                                    | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | 1900 | Pre Stage I                                                    | Tier 0       | 1900   | 1900    | 1900     | 1900     | 1900     | 1900      | 1900       | 1900       | 1900       | 1900 |
| Stage I                                                        | Tier 1       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage I                                                        | Tier 1       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage II                                                       | Tier 2       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage II                                                       | Tier 2       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage IIIA                                                     | Tier 3       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage IIIA                                                     | Tier 3       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage IIIB                                                     | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage IIIB                                                     | Tier 4I      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage IV                                                       | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage IV                                                       | Tier 4F      |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |
| Stage V                                                        |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      | Stage V                                                        |              |        |         |          |          |          |           |            |            |            |      |

Escenario de reducción establece normativa Tier 4I en 2023, mientras que escenario de LB no contempla normativas a las maquinarias importadas

El estándar de la maquinaria considerará el estándar que aplicaría de acuerdo con el año de fabricación (la maquinaria importada puede cumplir un estándar de emisión aun en la ausencia de normativa local) y de acuerdo con el año de importación (cuando existe una norma de entrada de la maquinaria, toda la maquinaria importada debe cumplir el estándar existente). **El estándar que prevalecerá será el más estricto entre el estándar asociado al año de fabricación y el estándar asociado al año de importación.** Por ejemplo, en caso de que se estime que la maquinaria fabricada desde 2012 en adelante ingresa al país con un estándar Stage II/Tier 2, en caso de que no exista una norma de importación, se asume que la maquinaria cumple dicho estándar (Stage II/Tier 2). Ahora, si en el año en que la maquinaria es importada país existiera una normativa de emisión equivalente a Stage IIIA/Tier 3, se asumiría que la maquinaria cumple este último estándar, ya que es más estricto. La Figura 4-16 presenta un diagrama sobre la asignación normativa para la maquinaria.

Figura 4-16. Esquema de asignación normativa



### 4.3 Hoja “Sensibilidad”

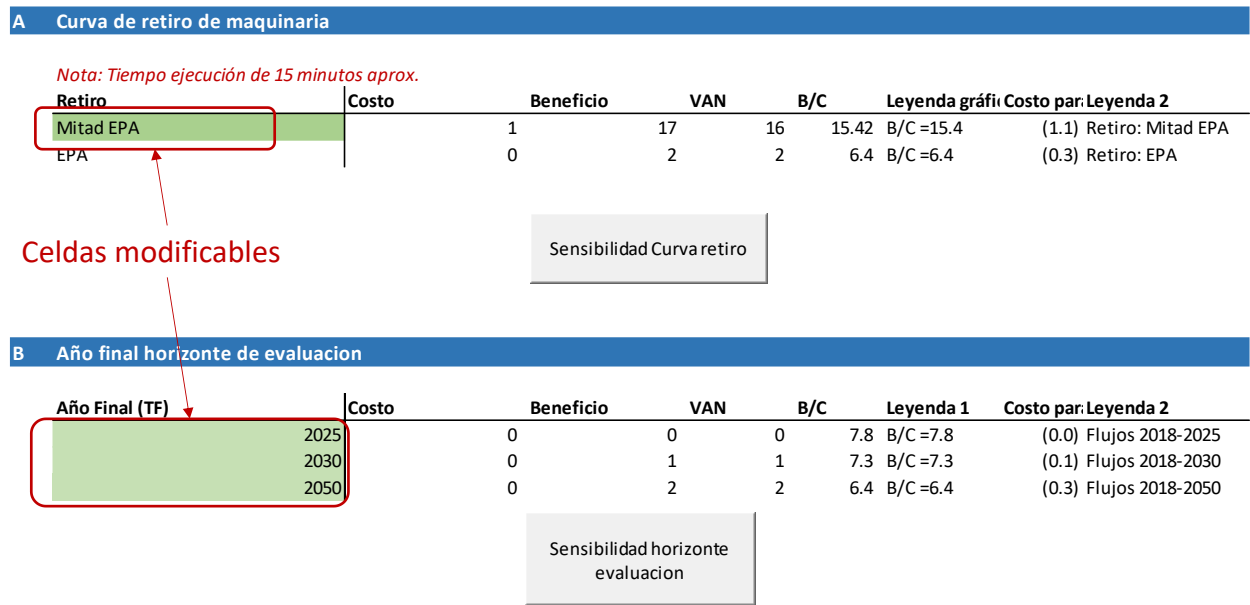
La hoja Sensibilidad permite visualizar los principales resultados del análisis costo beneficio al modificar uno de los supuestos de evaluación. Es posible realizar un análisis de sensibilidad para los siguientes parámetros:

- Curva de retiro de la maquinaria
- Año final del horizonte de evaluación
- Valor de la vida estadística
- Tipo de mortalidad considerada para la valorización de beneficios
- Relación emisión concentración

En el caso de la sensibilidad a la curva de retiro de la maquinaria y el año final de la evaluación, el usuario puede modificar las celdas en verde, presentadas en la Figura 4-17.

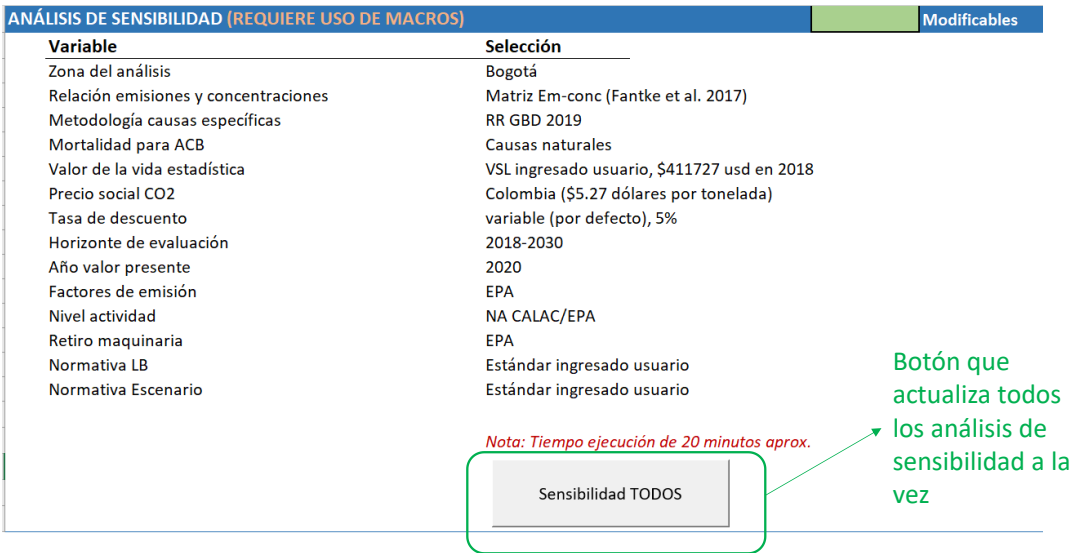
*Figura 4-17. Configuración de opciones modificable para el análisis de sensibilidad*

Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



Una vez configuradas las celdas en verde, el usuario puede ejecutar todos los análisis de sensibilidad a la vez, o bien ejecutar uno a uno los análisis de interés.

Figura 4-18. Ejecución de todos los análisis de sensibilidad a la vez





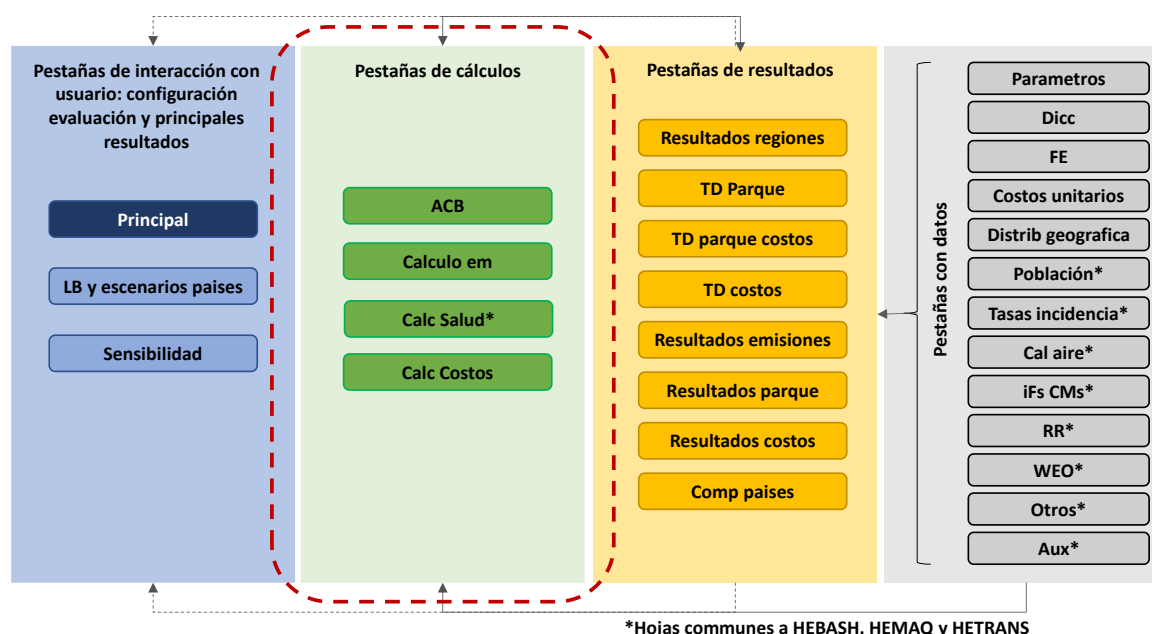
## 5 Uso avanzado: pestañas de cálculo, pestañas de datos y preparación de bases de datos

En esta sección se presenta el funcionamiento y estructura de las hojas de cálculo restantes de la herramienta. El usuario en general no requiere interactuar con las planillas descritas en esta sección, a no ser que requiera modificar datos de entrada o fórmulas de cálculo.

### 5.1 Pestañas de cálculos

Las pestañas descritas en esta sección corresponden a las hojas en que se ejecutan los cálculos principales de HEMAQ. La Figura 5-1 presenta estas pestañas, en color verde.

Figura 5-1. Esquema hojas en planilla HEMAQ, resaltando las hojas en que se llevan a cabo los principales cálculos



#### 5.1.1 Hoja "ACB"

La hoja "ACB" contiene los indicadores asociados al análisis costo-beneficio. En esta pestaña se recopilan por lo tanto los resultados de la evaluación en terminos de valoración de mortalidad evitada, costos de inversión y opeacion, ademas de cuantificarse en terminos economicos la reducción de emisiones de GEI. A partir de dichos valores se calculan los indicadores de costos totales, beneficios totales, valor actual neto y razon beneficio costo. La Figura 5-2 presenta un ejemplo (aleatoreo) de los indicadores calculados.

Figura 5-2. Vista pestaña "ACB", indicadores calculados

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|     |                                                    |                  |                                                                                               |           |              |                  |         |
|-----|----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|------------------|---------|
| 167 | <b>Indicadores analisis costo-beneficio Bogotá</b> |                  |                                                                                               |           |              |                  |         |
| 168 |                                                    |                  | salud                                                                                         | CO2       | Ahorros      | Costos inv + O&M | Total   |
| 169 | Bogotá                                             | Beneficios       | \$                                                                                            | 3         | \$           | 0.005            | \$ -    |
| 170 | Bogotá                                             | Costos           |                                                                                               |           |              | \$               | 0.4     |
| 171 |                                                    |                  |                                                                                               |           |              |                  |         |
| 172 |                                                    |                  | Agrícola                                                                                      | Forestal  | Construcción | Industrial       | Minería |
| 173 |                                                    | Beneficios       | \$                                                                                            | -         | \$           | 1.70             | \$ 1.54 |
| 174 |                                                    | Costos           | \$                                                                                            | 0.00      | \$           | 0.21             | \$ 0.23 |
| 175 |                                                    | Leyenda grafico: | Valor presente, año 2020, flujos 2018-2030. Costos y beneficios por rubro, Bogotá. B/C = 7.31 |           |              |                  |         |
| 176 |                                                    |                  |                                                                                               |           |              |                  |         |
| 177 |                                                    |                  | Costo                                                                                         | Beneficio | VAN          | B/C              |         |
| 178 | Bogotá                                             |                  | \$                                                                                            | 0.4       | \$           | 3.2              | \$ 2.8  |
| 179 |                                                    |                  |                                                                                               |           |              |                  | 7.31    |

En esta pestaña, el usuario puede modificar los supuestos de distribución de costos y beneficios según agente para los beneficios de salud, de CO2 evitado, de ahorros en costos de operación y mantención (si los hubiera) y los costos de inversión y O&M. La Figura 5-3 presenta la vista de los supuestos precargados en la herramienta.

Figura 5-3. Vista de pestaña ACB, matriz de distribución de costos y beneficios por agente.

|     |                                                                 |                  |             |             |                  |
|-----|-----------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-------------|------------------|
| 181 | <b>Matriz de distribución de costos y beneficios por agente</b> |                  |             |             |                  |
| 182 |                                                                 | Beneficios       |             |             |                  |
| 183 | Agente                                                          | Beneficios salud | CO2 evitado | Ahorros O&M | Costos inv + O&M |
| 184 | Privados                                                        |                  |             |             | 0.1              |
| 185 | Emisores                                                        |                  |             | 1           | 0.9              |
| 186 | Gobierno                                                        | 0.2              | 0.5         |             |                  |
| 187 | Ciudadanía                                                      | 0.8              | 0.5         |             |                  |
| 188 | Total                                                           | 1                | 1           | 1           | 1                |

La metodología asociada al análisis costo-beneficio se presenta en la sección 6.3 de Anexos.

### 5.1.2 Hoja “Calculo em”

La hoja “Calculo em” es donde se encuentra precargado el parque de maquinaria proyectado y donde se calculan las emisiones. Los cálculos de esta pestaña se calculan para 1 año a la vez, el que es indicado en la pestaña “Principal”, en la sección I (celda E5). Dicha celda se llama “\_anioparque” y es usada para calcular la edad de cada maquinaria. La metodología de cálculo de emisiones se presenta en la sección 6.4 de Anexos.

En esta pestaña, las columnas B a L contienen el parque proyectado según rubro, tipología de la maquinaria, rango de potencia, año de importación y de fabricación, entre otros parámetros. Las demás columnas, desde la M en adelante, son columnas calculadas (con fórmulas). La Figura 5-4 presenta una vista a la pestaña.

Figura 5-4. Vista de la pestaña “Calculo em” de HEMAQ.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|    | A                                         | B        | C     | D                  | E                     | F                     | G              | H              | I                     | J                 | K                 | L           | M    | N                       |      |  |
|----|-------------------------------------------|----------|-------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------|------|-------------------------|------|--|
| 1  | CALCULO DE EMISIONES, AÑO 2029, Normativa |          |       |                    |                       | Ir a la hoja "Leeme"  |                |                | Ir a hoja "Principal" |                   |                   |             |      |                         |      |  |
| 2  | Unidad ->                                 |          |       |                    |                       | kW                    |                |                |                       |                   |                   |             |      |                         | años |  |
| 3  | Nota ->                                   |          |       |                    |                       |                       |                |                |                       |                   |                   |             |      |                         |      |  |
| 4  | Categoria ->                              |          |       |                    |                       | Características flota |                |                |                       |                   |                   |             |      |                         |      |  |
| 5  | Variable 1 ->                             | Área     | Rubro | Tipologia original | Tipologia consultoria | Rango Potencia [kW]   | Año Importació | Año Fabricació | Cantidad              | Pot promedio [kW] | Estándar original | Código tipo | Edad | Estándar LB - fabricaci |      |  |
| 6  | Parque hasta año base                     |          |       |                    |                       | Aux                   |                |                |                       |                   |                   |             |      |                         |      |  |
| 7  | co                                        | Agricola |       | 2270002030         | Zanjadoras            | >37 A 56              |                | 2001           | 2                     | 44.742            | zan               |             | 28   | Tier 0                  |      |  |
| 8  | co                                        | Agricola |       | 2270002033         | Perforadora / Taladro | >75 A 130             |                | 1979           | 2                     | 104.398           | per               |             | 50   | Tier 0                  |      |  |
| 9  | co                                        | Agricola |       | 2270002033         | Perforadora / Taladro | >8 A 19               |                | 2012           | 2                     | 17.1511           | per               |             | 17   | Tier 1                  |      |  |
| 10 | co                                        | Agricola |       | 2270002036         | Excavadoras           | >0 A 8                |                | 2005           | 4                     | 7.643425          | exc               |             | 24   | Tier 0                  |      |  |
| 11 | co                                        | Agricola |       | 2270002036         | Excavadoras           | >130 A 225            |                | 1994           | 2                     | 223.71            | exc               |             | 35   | Tier 0                  |      |  |
| 12 | co                                        | Agricola |       | 2270002036         | Excavadoras           | >130 A 225            |                | 1999           | 2                     | 186.425           | exc               |             | 30   | Tier 0                  |      |  |
| 13 | co                                        | Agricola |       | 2270002036         | Excavadoras           | >130 A 225            |                | 2001           | 2                     | 158.8341          | exc               |             | 28   | Tier 0                  |      |  |

Esta pestaña se divide en dos partes: i) Parque y cálculos hasta el año base y ii) Parque y cálculos para el parque proyectado. Estas dos secciones se dividen por una fila vacía, que varía de acuerdo con la planilla asociada a cada país. Para encontrar la separación entre estas secciones, es posible posicionarse en la celda A6 y presionar las teclas "ctrl" y "↓" (ver Figura 5-5).

Figura 5-5. Teclas a utilizar para avanzar hasta la próxima celda no vacía en Excel ("ctrl" y "↓").



Las fórmulas en las columnas O, Q, R, S y T varían entre ambas secciones, debido a diferencias en la asignación del estándar normativo para el parque base y para el parque proyectado.

Los resultados de las emisiones calculadas se encuentran desde la columna BA en adelante. Nótese que las filas 2 y 3 contienen las unidades y posibles notas que aplican a cada columna.

En caso de requerirse la modificación del parque, debe tenerse cuidado de separar el parque base del parque proyectado y aplicar las fórmulas correspondientes a cada uno. En caso de modificación, se recomienda insertar el parque base entre medio del parque base original, arrastrar las fórmulas en las filas correspondientes al nuevo parque y eliminar las filas correspondientes al parque antiguo. Se debe hacer el mismo procedimiento para el parque proyectado.

### 5.1.3 Hoja "Calculo Costos"

La pestaña "Calculo Costos", al igual que la pestaña "Calculo em" se calcula para 1 año a la vez, el que es indicado en la pestaña "Principal", en la sección I (celda E5, llamada "\_anioparque").

En esta hoja, las columnas A a D contienen las características de la maquinaria y las columnas E y F contienen el resultado de costos de inversión (columna E) y costos de mantención (columna F).

### Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Entre las columnas G y M se determina el parque, de acuerdo con el estándar que cumpliría en el escenario de línea base (indicado en columna C) y estándar que cumpliría en el escenario de reducción (indicado entre columnas G y M). Se calcula un costo solo en los casos en que el parque cambia entre el escenario de LB y el de reducción. Por ejemplo, si el parque cumple el mismo estándar en la línea base y en el escenario de reducción, no aplicaría un costo.

Entre las columnas P y V se encuentran los costos de inversión asociados a los cambios normativos, mientras que entre las columnas X y AD se encuentran los costos de operación y mantención. Estos costos son leídos desde la página Costos unitarios (filas 124 a 171), descrita más adelante.

En ambos casos (costos de inversión y costos de O&M), la columna C (en cada fila), indica el estándar de LB y las columnas P a V, o X a AD, indican el estar final. Por ejemplo, para cierta fila, si la columna C indica el estándar “Tier 0”, los valores en dicha fila, en la columna S (para los costos de inversión) y en la columna AA (costos de O&M) indicaría el costo anualizado de pasar desde un estándar “Tier 0” a “Tier 3”.

Figura 5-6. Vista de página “Calculo Costos”

| Costos año 2029 |          |             |          |           |            |  | Ir a la hoja "Leeme" |          |          |        |         | Ir a hoja "Principal" |         |           |  |
|-----------------|----------|-------------|----------|-----------|------------|--|----------------------|----------|----------|--------|---------|-----------------------|---------|-----------|--|
|                 |          |             |          |           |            |  | Delta parque         |          |          |        |         |                       |         |           |  |
| Costo TOTAL     |          |             |          |           |            |  | Estándar Escenario   |          |          |        |         |                       |         |           |  |
| Año             | Rubro    | Estándar LB | Potencia | Inversion | Mantencion |  | Tier 0               | Tier 1   | Tier 2   | Tier 3 | Tier 4I | Tier 4F               | Stage V | Parque to |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 0      | >0 A 8   | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 1      | >0 A 8   | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 2      | >0 A 8   | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 1.820094 | 0      | 0       | 0                     | 0       | 1.820094  |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 3      | >0 A 8   | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 0      | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 3.614537             | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 3.614537  |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 1      | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 348.5087 | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 348.5087  |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 2      | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 850.4328 | 0      | 0       | 0                     | 0       | 850.4328  |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 3      | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 4I     | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 4F     | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 726.2254              | 0       | 726.2254  |  |
| 2029            | Agrícola | Stage V     | >8 A 19  | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 0         |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 0      | >19 A 37 | \$ -      | \$ -       |  | 12.90408             | 0        | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 12.90408  |  |
| 2029            | Agrícola | Tier 1      | >19 A 37 | \$ -      | \$ -       |  | 0                    | 99.14073 | 0        | 0      | 0       | 0                     | 0       | 99.14073  |  |

#### 5.1.4 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 5-7, 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 5-7. Vista de hoja "Calc Salud"

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

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 5-7, 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.

### 5.1.4.1 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 5-8 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 5-8. Ejemplo de datos de entrada, modulo A, tasas de incidencia.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

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 |   | <b>TASAS DE INCIDENCIA BASE</b>                                                   |                     |                     |                    |        |   |                |            |
| 37 |   | <b>Tasas de mortalidad</b>                                                        |                     |                     |                    |        |   |                |            |
| 38 |   | <b>Tasa de incidencia base MORTALIDAD Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica</b> |                     |                     |                    |        |   |                |            |
| 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 |   | <b>Tasa de incidencia base MORTALIDAD Cáncer al pulmón</b>                        |                     |                     |                    |        |   |                |            |
| 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 |   | <b>Tasa de incidencia base MORTALIDAD diabetes mellitus tipo 2</b>                |                     |                     |                    |        |   |                |            |
| 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 |   |                                                                                   |                     |                     |                    |        |   |                |            |

### 5.1.4.2 Módulo B: Línea base y Módulo C: Escenario de reducción de emisiones

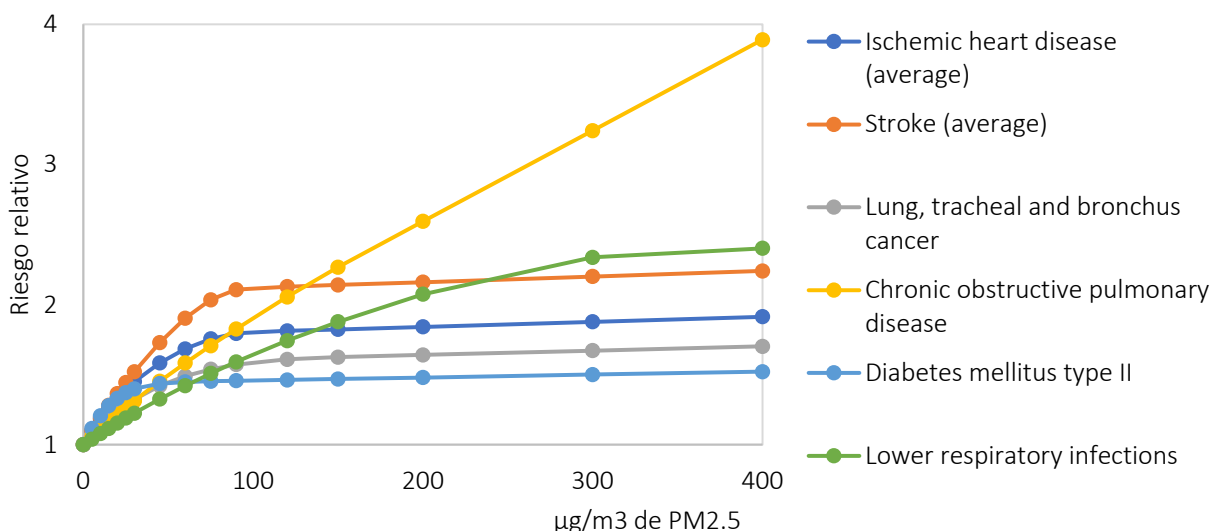
Los módulos B y C son “espejo” el uno del otro, ya que contienen los mismos cálculos, pero el Módulo B aplica para el escenario línea base, mientras que el D aplica al escenario de reducción de emisiones.

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 5.3.8), 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 5.3.10) 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 5-9 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 5-9. Ejemplo valores tabulados riesgo relativo de funciones concentración respuesta, GBD 2019

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



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 5-10). 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 5-10. Módulo 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 5-11 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 5-11. Módulo B, pestaña “Calc Salud”, interpolación riesgo relativo entre valores tabulados.

Códigos de salida en columna E

Interpolación RR

Concentraciones tabuladas más cercanas

H

=INDEX(RR!\$H\$3:\$H\$2115,MATCH(\$D370&I363,RR!\$A\$3:\$A\$2115,0))-(INDEX(RR!\$H\$3:\$H\$2115,MATCH(\$D370&I363,RR!\$A\$3:\$A\$2115,MATCH(\$D370&I362,RR!\$A\$3:\$A\$2115,0)))/((I363-I362))\*(I363-I360)

LINEA BASE

1

Concentración de PM2.5 Lima y Callao, Perú

Variable

Concentración LB

Concentración -baja

Concentración -alta

Código salida

lc.pe.conc.1

µg/m3

µg/m3

µg/m3

Unidad

µg/m3

µg/m3

µg/m3

Nota

Valor más cercano inferior y superior

2018

27.4

25

30

Riesgo Relativo - Funciones concentración respuesta Lima y Callao, Perú

Fuente (selección usuario)->

RR GBD 2019

RR Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

Rango edad

Código entrada

Código salida

Unidad

copd

Nota

25+

rr.gbd3.copd.25+

lc.pe.rr.gbd3.copd.25+

sin unidad

Interpolado entre RR bajo y alto

2018

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.

#### 5.1.4.3 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 5-12 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 5-12. Ejemplo módulo D, concentración de PM2.5



## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

**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 reducción emisiones) Lima y Callao, Perú |                                           |              |   |        |   |            |      |
| 939 |   | Calidad del aire                                                                        |                                           |              |   |        |   |            |      |
| 940 |   |                                                                                         |                                           |              |   |        |   |            |      |
| 941 |   |                                                                                         |                                           |              |   |        |   |            | 2018 |
| 942 |   |                                                                                         | PM2.5 línea base                          | lc.pe.conc.1 |   | Unidad |   |            | 27   |
| 943 |   |                                                                                         | PM2.5 escenario reducción en lc.pe.conc.2 |              |   | µg/m3  |   |            | 27   |
| 944 |   |                                                                                         | Reducción PM2.5                           |              |   | µg/m3  |   | =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 5-13 presenta la implementación de la valoración de la mortalidad evitada, resaltado 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 5-13. Ejemplo módulo D, valorización de mortalidad evitada

**Metodologías utilizadas**      **Valor presente mortalidad evitada**

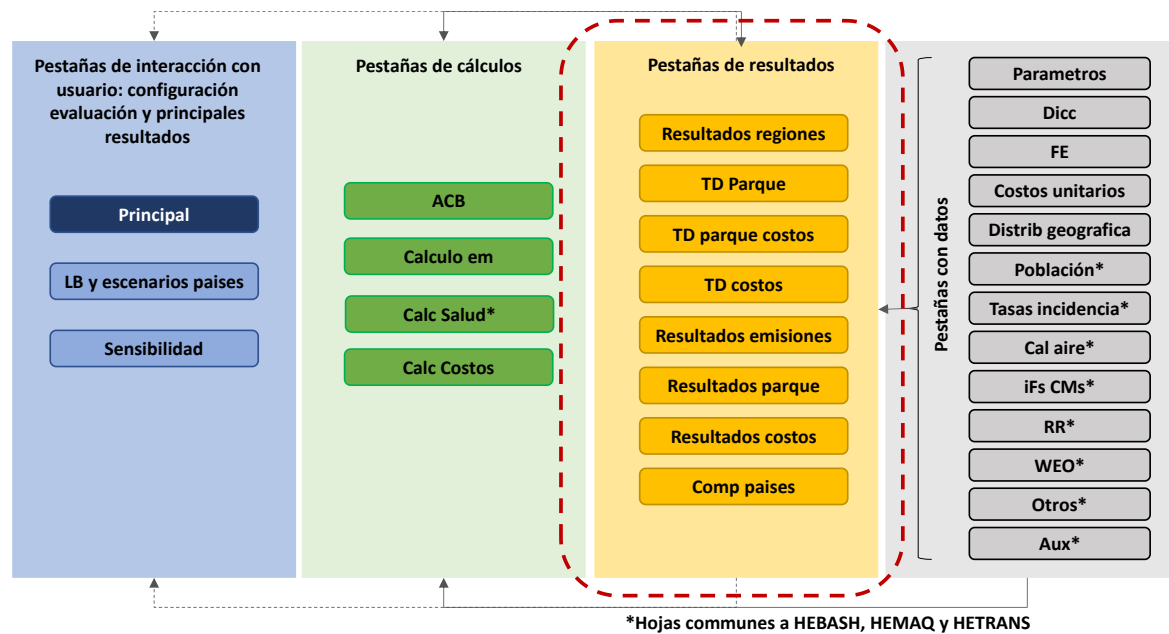
|      | A | B                                                              | C                                                                                   | D | E                    | F | G | H | I                   | J    |
|------|---|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------|---|---|---|---------------------|------|
| 1005 |   | Valorización mortalidad evitada Lima y Callao, Perú            |                                                                                     |   |                      |   |   |   |                     |      |
| 1006 |   | Valoración mortalidad evitada, causas específicas, RR GBD 2019 |                                                                                     |   |                      |   |   |   |                     |      |
| 1007 |   |                                                                |                                                                                     |   |                      |   |   |   | 2018                | 2019 |
| 1008 |   |                                                                | Valorización mortalidad evitada                                                     |   | Unidad               |   |   |   | \$                  | \$   |
| 1009 |   |                                                                |                                                                                     |   | 2018 USD             |   |   |   | -                   | -    |
| 1010 |   |                                                                | Valoración mortalidad evitada, causas naturales                                     |   |                      |   |   |   | \$                  | \$   |
| 1011 |   |                                                                |                                                                                     |   | 2018 USD             |   |   |   | -                   | -    |
| 1012 |   |                                                                | Valor presente mortalidad evitada 2020, flujos 2018-2040, utilizando TASA CONSTANTE |   | Unidad               |   |   |   | Valor presente 2020 |      |
| 1013 |   |                                                                |                                                                                     |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$92                |      |
| 1014 |   |                                                                | Valor presente 2020, RR GBD 2019                                                    |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$294               |      |
| 1015 |   |                                                                | Valor presente 2020, causas naturales                                               |   |                      |   |   |   |                     |      |
| 1016 |   |                                                                | Valor presente mortalidad evitada 2020, flujos 2018-2040, utilizando TASA VARIABLE  |   | Unidad               |   |   |   | Valor presente 2020 |      |
| 1017 |   |                                                                |                                                                                     |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |
| 1018 |   |                                                                | Flujos descontados, RR GBD 2019                                                     |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |
| 1019 |   |                                                                | Flujos descontados, causas naturales                                                |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1020 |   |                                                                |                                                                                     |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1021 |   |                                                                |                                                                                     |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1022 |   |                                                                |                                                                                     |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1023 |   |                                                                | Valor presente 2020, RR GBD 2019                                                    |   | Unidad               |   |   |   | Valor presente 2020 |      |
| 1024 |   |                                                                | Valor presente 2020, causas naturales                                               |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |
| 1025 |   |                                                                |                                                                                     |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |
| 1026 |   |                                                                | Valor presente, tasa descuento: variable (por defecto)                              |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1027 |   |                                                                |                                                                                     |   |                      |   |   |   | \$                  |      |
| 1028 |   |                                                                | Valor presente 2020, RR GBD 2019                                                    |   | Unidad               |   |   |   | Valor presente 2020 |      |
| 1029 |   |                                                                | Valor presente 2020, causas naturales                                               |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |
| 1030 |   |                                                                |                                                                                     |   | Millones de 2018 USD |   |   |   | \$                  |      |

## 5.2 Pestañas de resultados

En esta sección se describen las pestañas de resultados, resaltadas en amarillo en la Figura 5-14.

Figura 5-14. Esquema hojas en planilla HEMAQ, resaltando las hojas en que se encuentran resultados (en amarillo).

Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



5.2.1 Hoja “TD em”

La hoja “TD Em” corresponde a una hoja de resultados de las emisiones provenientes de la pestaña “Calculo Em”. Esta hoja contiene tablas dinámicas asociadas a las emisiones para 1 solo año, indicado en la pestaña “Principal”, en la sección I (celda E5, llamada “\_anioparque”).

La primera tabla dinámica corresponde a las emisiones totales del año seleccionado, desagregadas según rubro y contaminante. La tabla dinámica alimenta a la tabla siguiente (filas 14 a 19, ver Figura 5-15). Esta última tabla, al realizar el ACB es copiada y pegada como valor en la pestaña “BD Em”, en la que se almacenan las emisiones asociadas a todo el periodo de evaluación.

Figura 5-15. Vista a la pestaña “TD em”, tablas con emisiones según rubro y contaminante para un año determinado

|    | A                  | B            | C            | D             | E                    | F             | G                     | H            |          |
|----|--------------------|--------------|--------------|---------------|----------------------|---------------|-----------------------|--------------|----------|
| 1  | Emisiones año 2029 |              |              |               | Ir a la hoja "Leeme" |               | Ir a hoja "Principal" |              |          |
| 2  |                    |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 3  | Área               |              | (All)        |               |                      |               |                       |              |          |
| 4  |                    |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 5  | Values             |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 6  | Rubro              | Sum of Em PM | Sum of Em BC | Sum of Em NOx | Sum of Em SO2        | Sum of Em CO2 | Sum of Em HC          | Sum of Em CO | Sum of E |
| 7  | Construcción       | 798          | 560          | 9,733         | 35                   | 1,147,338     | 1,046                 | 5,188        |          |
| 8  | (blank)            | -            | -            | -             | -                    | -             | -                     | -            |          |
| 9  | Agrícola           | 162          | 124          | 2,317         | 10                   | 322,604       | 203                   | 1,372        |          |
| 10 | Industrial         | 207          | 149          | 4,231         | 13                   | 436,520       | 276                   | 1,368        |          |
| 11 |                    |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 12 |                    |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 13 |                    |              |              |               |                      |               |                       |              |          |
| 14 | Año                | Rubro        | Escenario    | PM            | BC                   | NOx           | SO2                   | CO2          | HC       |
| 15 | 2029               | Construcción | Normativa    | 798           | 560                  | 9,733         | 35                    | 1,147,338    |          |
| 16 | 2029               | Forestal     | Normativa    | -             | -                    | -             | -                     | -            |          |
| 17 | 2029               | Agrícola     | Normativa    | 162           | 124                  | 2,317         | 10                    | 322,604      |          |
| 18 | 2029               | Industrial   | Normativa    | 207           | 149                  | 4,231         | 13                    | 436,520      |          |
| 19 | 2029               | Minería      | Normativa    | -             | -                    | -             | -                     | -            |          |

La segunda tabla dinámica en esta pestaña (fila 22), presenta las emisiones totales desagregadas según contaminante y rango de potencia de la maquinaria emisora. Esta tabla dinámica alimenta la tabla siguiente (fila 39 a 49, ver Figura 5-16), cuyos resultados son graficados en la pestaña Principal (celda E49).

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Figura 5-16. Vista a la pestaña “TD em”, tablas con emisiones según contaminante y potencia para un año determinado

|    | A                 | B                   | C           | D           | E           | F           | G           | H          |
|----|-------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 22 | Rubro             | (All)               |             |             |             |             |             |            |
| 23 | Pot promedio [kW] | (All)               |             |             |             |             |             |            |
| 24 |                   |                     |             |             |             |             |             |            |
| 25 |                   | Rango Potencia [kW] |             |             |             |             |             |            |
| 26 | Values            | >0 A 8              | >8 A 19     | >19 A 37    | >37 A 56    | >56 A 75    | >75 A 130   | >130 A 225 |
| 27 | Sum of Em PM      | 0                   | 4           | 20          | 140         | 297         | 301         |            |
| 28 | Sum of Em BC      | 0                   | 3           | 15          | 102         | 211         | 234         |            |
| 29 | Sum of Em NOx     | 1                   | 64          | 210         | 1,242       | 2,382       | 4,191       |            |
| 30 | Sum of Em SO2     | 0                   | 0           | 1           | 5           | 9           | 17          |            |
| 31 | Sum of Em CO2     | 204                 | 9,148       | 28,530      | 157,448     | 296,677     | 540,583     |            |
| 32 | Sum of Em HC      | 0                   | 7           | 24          | 185         | 367         | 378         |            |
| 33 | Sum of Em CO      | 1                   | 44          | 122         | 1,139       | 2,422       | 1,589       |            |
| 34 | Sum of Em N2O     | 0                   | 0           | 1           | 6           | 12          | 26          |            |
| 35 | Sum of Em CH4     | 0                   | 1           | 1           | 2           | 5           | 6           |            |
| 36 | Sum of EM NH3     | 0                   | 0           | 0           | 0           | 1           | 1           |            |
| 37 |                   |                     |             |             |             |             |             |            |
| 38 |                   |                     |             |             |             |             |             |            |
| 39 |                   | >0 A 8              | >8 A 19     | >19 A 37    | >37 A 56    | >56 A 75    | >75 A 130   | >130 A 225 |
| 40 | PM                | 0.129305285         | 4.301334699 | 20.17837385 | 140.2629769 | 296.8783951 | 300.5677913 |            |
| 41 | NOx               | 1.445580926         | 63.62112212 | 209.9196415 | 1242.33425  | 2382.174433 | 4191.34719  |            |
| 42 | CO                | 1.264297473         | 43.58973175 | 121.8065846 | 1139.487855 | 2422.383065 | 1588.54423  |            |
| 43 | HC                | 0.236280254         | 7.269923115 | 23.51220289 | 185.4868701 | 366.9474035 | 377.7817795 |            |
| 44 | CO2               | 204.225134          | 9147.587785 | 28530.08946 | 157448.204  | 296676.5517 | 540583.2866 |            |
| 45 | BC                | 0.103444228         | 3.413865983 | 15.46127255 | 101.5902056 | 210.6230062 | 233.7786916 |            |
| 46 | SO2               | 0.006257657         | 0.280298445 | 0.874211066 | 4.824358848 | 9.090405237 | 16.56455489 |            |
| 47 | N2O               | 0.008807086         | 0.396686939 | 1.211613892 | 6.435527883 | 12.09750683 | 25.7789661  |            |
| 48 | CH4               | 0.015097862         | 0.681279574 | 0.612396356 | 2.391801843 | 5.037016001 | 6.173452061 |            |
| 49 | NH3               | 0.000503262         | 0.022667825 | 0.06923508  | 0.36774445  | 0.691286105 | 1.473083777 |            |

### 5.2.2 Hoja “TD para costos”

Las tablas dinámicas en la pestaña “TD para costos” utilizan los cálculos de la pestaña “Calculo em” y presentan los resultados para 1 solo año (indicado en la pestaña “Principal”, en la sección I, celda E5, llamada “\_anioparque”). La Figura 5-17 presenta una vista de esta pestaña y las tablas dinámicas contenidas en ella.

La primera tabla dinámica (celda A3) se utiliza en la pestaña “Calc Costos” y descompone el parque de acuerdo con el estándar de emisión que cumpliría de línea base y en el escenario de reducción. Como se explicó en la descripción de la pestaña “Calculo Costos”, cuando el parque cumple un estándar de línea base diferente al estándar que cumpliría en el escenario de reducción de emisiones (de acuerdo con su año de fabricación e importación), entonces aplicaría un costo asociado a la mejora normativa.

La segunda tabla dinámica (celda N5) descompone el parque para el año seleccionado según el estándar normativo que cumple en el escenario indicado en la pestaña Principal (celda E7), el que puede corresponder a “Línea base” o bien a “Normativa”. Esta tabla dinámica alimenta el gráfico de la pestaña Principal, en la celda H50.

La tercera tabla dinámica (celda Q6) distribuye el parque para el año seleccionado según rango de potencia. Estos valores alimentan la tabla ubicada en la celda Q22, la que a su vez alimenta el gráfico de la pestaña Principal, ubicado en la celda M49.

Figura 5-17. Vista de la pestaña “TD para costos”

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|    |                       |                     |                     |                     |        |        |        |        |         |                 |
|----|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------------|
| 2  | Tabla dinamica parque |                     |                     |                     |        |        |        |        |         |                 |
| 3  | Sum of Cantidad Final |                     |                     |                     |        |        |        |        |         |                 |
| 4  | Rubro                 | Estándar LB - Final | Rango Potencia [kW] | Estándar ES - Final | Tier 0 | Tier 1 | Tier 2 | Tier 3 | Tier 4F | Tier 4I (blank) |
| 5  | Construcción          | Tier 0              | >130 A 225          |                     | 181    |        |        |        |         |                 |
| 6  |                       |                     | >19 A 37            |                     | 133    |        |        |        |         |                 |
| 7  |                       |                     | >37 A 56            |                     | 1,462  |        |        |        |         |                 |
| 8  |                       |                     | >56 A 75            |                     | 2,563  |        |        |        |         |                 |
| 9  |                       |                     | >75 A 130           |                     | 657    |        |        |        |         |                 |
| 10 |                       |                     | >225 A 4502         |                     | 238    |        |        |        |         |                 |
| 11 |                       |                     | >450 A 560          |                     | 4      |        |        |        |         |                 |
| 12 |                       |                     | >8 A 19             |                     | 7      |        |        |        |         |                 |
| 13 |                       |                     | >0 A 8              |                     | -      |        |        |        |         |                 |
| 14 |                       |                     | >560                |                     | 132    |        |        |        |         |                 |
| 15 |                       | Tier 0 Total        |                     |                     | 5,377  |        |        |        |         |                 |
| 16 |                       | Tier 1              | >130 A 225          |                     |        | 1,237  |        |        |         |                 |
| 17 |                       |                     | >19 A 37            |                     |        | 215    |        |        |         |                 |
| 18 |                       |                     | >37 A 56            |                     |        | 2,183  |        |        |         |                 |
| 19 |                       |                     | >56 A 75            |                     |        | 3,409  |        |        |         |                 |
| 20 |                       |                     | >75 A 130           |                     |        | 2,705  |        |        |         |                 |
| 21 |                       |                     | >225 A 4502         |                     |        | 515    |        |        |         |                 |
| 22 |                       |                     | >450 A 560          |                     |        | 31     |        |        |         |                 |
| 23 |                       |                     | >8 A 19             |                     |        | 25     |        |        |         |                 |
| 24 |                       |                     | >0 A 8              |                     |        | 5      |        |        |         |                 |
| 25 |                       |                     | >560                |                     |        | 164    |        |        |         |                 |
| 26 |                       | Tier 1 Total        |                     |                     | #####  |        |        |        |         |                 |
| 27 |                       | Tier 2              | >130 A 225          |                     |        | 1,619  |        |        |         |                 |

|                       |        |                       |          |
|-----------------------|--------|-----------------------|----------|
| Rubro                 | (All)  | Rubro                 | (All)    |
| Rango Potencia [kW]   | (All)  |                       |          |
| Sum of Cantidad Final |        | Sum of Cantidad Final |          |
| Estándar LB - Final   | Total  | Rango Potencia [kW]   | Total    |
| Tier 0                | 6,201  | >0 A 8                | 65       |
| Tier 1                | 15,486 | >8 A 19               | 2,264    |
| Tier 2                | 27,604 | >19 A 37              | 3,186    |
| Tier 3                | 10,015 | >37 A 56              | 13,342   |
| Tier 4I               | 3,324  | >56 A 75              | 18,000   |
| Tier 4F               | 892    | >75 A 130             | 17,679   |
|                       |        | >130 A 225            | 6,210    |
|                       |        | >225 A 4502           | 2,085    |
|                       |        | >450 A 560            | 78       |
|                       |        | >560                  | 613      |
|                       |        | Potencia              | Cantidad |
|                       |        | >0 A 8                | 65.398   |
|                       |        | >8 A 19               | 2263.8   |
|                       |        | >19 A 37              | 3186.2   |
|                       |        | >37 A 56              | 13342    |
|                       |        | >56 A 75              | 18000    |

### 5.2.3 Hoja “BD costos”

En esta pestaña se almacenan como valor los costos asociados a cada año dentro del periodo de evaluación para el análisis costo beneficio. Estos valores provienen de la pestaña “Calc Costos” y son almacenados al ejecutar el botón “Calcula emisiones y costos” en la pestaña Principal (celda F100).

Además de los costos de inversión y mantención (columnas E y F), se almacena el parque de cada año, de acuerdo con el estándar de emisión que cumpliría en la línea base y en el escenario normativo (columnas G a N).

Esta pestaña contiene además dos tablas dinámicas. La primera de ellas (celda P3) se utiliza en la pestaña “Resultados parque”, mientras que la segunda (celda AB3) se utiliza en la pestaña “Resultados costos”.

La Figura 5-18 presenta una vista de la pestaña “BD costos”.

Figura 5-18. Vista de la pestaña “BD costos”

|    | A                               | B       | C           | D        | E               | F                    | G       | H       | I                     | J      | K       | L       | M        | N          |
|----|---------------------------------|---------|-------------|----------|-----------------|----------------------|---------|---------|-----------------------|--------|---------|---------|----------|------------|
| 1  | Costos calculados para cada año |         |             |          |                 | Ir a la hoja "Leeme" |         |         | Ir a hoja "Principal" |        |         |         |          |            |
| 2  | Año                             | Rubro   | Estándar LB | Potencia | Costo Inversior | Costo Mantenc        | Tier 0  | Tier 1  | Tier 2                | Tier 3 | Tier 4I | Tier 4F | Tier 4FD | Parque tot |
| 3  | 2016 Agrícola                   | Tier 0  | >0 A 8      |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 4  | 2016 Agrícola                   | Tier 1  | >0 A 8      |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 5  | 2016 Agrícola                   | Tier 2  | >0 A 8      |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 1.91843               | 0      | 0       | 0       | 0        | 1.91843    |
| 6  | 2016 Agrícola                   | Tier 3  | >0 A 8      |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 7  | 2016 Agrícola                   | Tier 0  | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 7.40949 | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 7.40949    |
| 8  | 2016 Agrícola                   | Tier 1  | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 370.147 | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 370.147    |
| 9  | 2016 Agrícola                   | Tier 2  | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 889.337               | 0      | 0       | 0       | 0        | 889.337    |
| 10 | 2016 Agrícola                   | Tier 3  | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 11 | 2016 Agrícola                   | Tier 4I | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 12 | 2016 Agrícola                   | Tier 4F | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 13 | 2016 Agrícola                   | Stage V | >8 A 19     |          | 0               | 0                    | 0       | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 0          |
| 14 | 2016 Agrícola                   | Tier 0  | >19 A 37    |          | 0               | 0                    | 16.462  | 0       | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 16.462     |
| 15 | 2016 Agrícola                   | Tier 1  | >19 A 37    |          | 0               | 0                    | 0       | 113.037 | 0                     | 0      | 0       | 0       | 0        | 113.037    |

### 5.2.4 Hoja “BD em”

En esta pestaña se almacenan como valor las emisiones asociados a cada año dentro del periodo de evaluación para el análisis costo beneficio. Estos valores provienen de la pestaña “Calculo em” y son almacenados al ejecutar el botón “Calcula emisiones y costos” en la pestaña Principal (celda F100).

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

La pestaña contiene además dos tablas dinámicas. La primera (celda S4) se utiliza en la pestaña “Resultados emisiones”, mientras que la segunda (celda AF4) no se utiliza fuera de la pestaña “BD em”. La Figura 5-19 presenta una vista de esta pestaña.

Figura 5-19. Vista de la pestaña “BD em”.

| Emisiones y parque para cada año y escenario |              |           | Ir a la hoja "Leeme" |          |          |          |          |          |          |          |          |          | Ir a hoja "Principal" |          |          |   |
|----------------------------------------------|--------------|-----------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|---|
| Año                                          | Rubro        | Escenario | PM                   | BC       | NOx      | SO2      | CO2      | HC       | CO       | N2O      | CH4      | NH3      | Cantidad              | Cantidad | PM2.5    |   |
| 2016                                         | Construcción | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 234744.6 | 0        | 0 |
| 2016                                         | Forestal     | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2016                                         | Agrícola     | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 53522.88 | 0        | 0 |
| 2016                                         | Industrial   | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 171392.7 | 0        | 0 |
| 2016                                         | Minería      | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2017                                         | Construcción | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 234744.6 | 0        | 0 |
| 2017                                         | Forestal     | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2017                                         | Agrícola     | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 53522.88 | 0        | 0 |
| 2017                                         | Industrial   | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 171392.7 | 0        | 0 |
| 2017                                         | Minería      | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2018                                         | Construcción | Normativa | 798.3467             | 560.49   | 9733.457 | 35.15618 | 1147338  | 1045.573 | 5187.9   | 52.18798 | 13.81716 | 2.98217  | 234744.6              | 34628.22 | 774.3963 |   |
| 2018                                         | Forestal     | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2018                                         | Agrícola     | Normativa | 162.2262             | 123.9436 | 2316.711 | 9.885294 | 322604.3 | 202.6557 | 1371.516 | 14.74    | 4.373912 | 0.842286 | 53522.88              | 22222.21 | 157.3595 |   |
| 2018                                         | Industrial   | Normativa | 206.645              | 148.5661 | 4230.578 | 13.37592 | 436520.4 | 275.7654 | 1367.51  | 20.49072 | 3.053019 | 1.170898 | 171392.7              | 6671.078 | 200.4457 |   |
| 2018                                         | Minería      | Normativa | 0                    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0                     | 0        | 0        | 0 |
| 2019                                         | Construcción | Normativa | 771.2833             | 545.9887 | 8987.612 | 34.28854 | 1119020  | 984.2331 | 5047.179 | 50.75851 | 13.21588 | 2.900486 | 234744.6              | 34935.91 | 748.1448 |   |

### 5.2.5 Hoja “Resultados emisiones”

La pestaña “Resultados emisiones” utiliza datos de la tabla dinámica en celda S4 de la pestaña “BD em”. Esta pestaña (Resultados emisiones) contiene las emisiones para todo el periodo de evaluación **para la ciudad seleccionada**. Nótese que la pestaña “BD em” contiene los datos de emisiones a nivel nacional, mientras que el análisis costo-beneficio se realiza para **una** ciudad a la vez. Debido a esto, para calcular las emisiones a nivel de ciudad se utilizan los datos de distribución geográfica de la flota, almacenados en la pestaña “Distrib geográfica”.

La participación de la maquinaria, según rubro, con respecto a la maquinaria total nacional se presenta en las celdas D4:D8. El total de dichos porcentajes no suma 100%, debido a que la suma a través de diferentes zonas geográficas para un mismo rubro debe sumar 100%, pero no así el total de los diferentes sectores en una misma zona geográfica.

Se considera también la posibilidad de que la normativa no se cumpla en un 100%. El porcentaje de cumplimiento se indica en las celdas E4:E8, y estos valores provienen de la pagina principal (modulo H, celdas E239 a E243).

Las emisiones de esta pestaña, a nivel de ciudad, se grafican en la pestaña “Principal”, fila 131.

La Figura 5-20 presenta una vista de la pestaña “Resultados emisiones”.

Figura 5-20. Vista pestaña “Resultados emisiones”

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Emisiones por escenario hasta 2050

[Ir a la hoja "Leeme"](#)

[Ir a hoja "Principal"](#)

PARTICIPACION FLOTA EN Bogotá

| Rubro        | codigo       | Participación | Fraccion cumplimiento |
|--------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Agrícola     | bo.co.agfo   | 0.06%         | 100%                  |
| Forestal     | bo.co.for    | 0.00%         | 100%                  |
| Construcción | bo.co.constr | 17.53%        | 100%                  |
| Industrial   | bo.co.ind    | 18.23%        | 100%                  |
| Minería      | bo.co.min    | 0.00%         | 100%                  |

Emisiones Bogotá PM2.5

Emisiones de línea base, material particulado fino

| Region               | Rubro        | Contaminante | Escenario  | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   |
|----------------------|--------------|--------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bogotá               | Agrícola     | PM2.5        | Línea Base | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   | 0.10   |
| Bogotá               | Forestal     | PM2.5        | Línea Base | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Bogotá               | Construcción | PM2.5        | Línea Base | 135.78 | 131.18 | 128.81 | 123.67 | 114.09 | 104.03 | 95.66  |
| Bogotá               | Industrial   | PM2.5        | Línea Base | 36.54  | 41.73  | 40.76  | 34.37  | 27.68  | 21.15  | 16.39  |
| Bogotá               | Minería      | PM2.5        | Línea Base | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Em PM2.5, línea base |              |              |            | 172.42 | 173.01 | 169.67 | 158.14 | 141.87 | 125.28 | 112.16 |

Emisiones escenario normativo, material particulado fino

| Region | Rubro    | Contaminante | Escenario | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------|----------|--------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Bogotá | Agrícola | PM2.5        | Normativa | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |

### 5.2.6 Hoja “Resultados parque”

La pestaña “Resultados parque” utiliza datos de la tabla dinámica en celda P3 de la pestaña “BD costos”. Esta pestaña (Resultados parque) contiene el parque proyectado para todo el periodo de evaluación **a nivel nacional y para la ciudad seleccionada**. Nótese que la pestaña “BD costos” contiene los datos de parque a nivel nacional, mientras que el análisis costo-beneficio se realiza para una ciudad a la vez. Debido a esto, para calcular el parque correspondiente a la ciudad seleccionada se utilizan los datos de distribución geográfica de la flota, almacenados en la pestaña “Distrib geográfica”.

La participación de la maquinaria, según rubro, con respecto a la maquinaria total nacional se ubica en las celdas E29:E33. El total de dichos porcentajes no suma 100%, debido a que la suma a través de diferentes zonas geográficas para un mismo rubro debe sumar 100%, pero no así el total de los diferentes sectores en una misma zona geográfica.

El parque proyectado en esta pestaña, a nivel de ciudad, se grafica en la pestaña “Principal”, fila 113.

La Figura 5-21 presenta una vista de la pestaña “Resultados parque”.

Figura 5-21. Vista pestaña “Resultados parque”

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Parque                       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ir a la hoja "Leeme"         |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Parque total Colombia</b> |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Parque de línea base</b>  |       |       |       |       |       |       |       |
| Estandar                     | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  |
| Tier 0                       | 6201  | 5777  | 5350  | 4985  | 4626  | 4256  | 3823  |
| Tier 1                       | 15486 | 14021 | 12949 | 11989 | 11015 | 10328 | 9730  |
| Tier 2                       | 27604 | 26636 | 25176 | 23623 | 21986 | 20412 | 19020 |
| Tier 3                       | 10015 | 13302 | 16648 | 18592 | 19382 | 18854 | 18086 |
| Tier 4I                      | 3324  | 5257  | 7193  | 10518 | 14077 | 16542 | 16915 |
| Tier 4F                      | 860   | 871   | 880   | 862   | 1604  | 4571  | 9705  |
| Tier 4FD                     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Total                        | 63489 | 65865 | 68196 | 70569 | 72690 | 74963 | 77278 |
| <b>Parque normativa</b>      |       |       |       |       |       |       |       |
| Estandar                     | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  |
| Tier 0                       | 6201  | 5777  | 5350  | 4985  | 4626  | 4185  | 3690  |
| Tier 1                       | 15486 | 14021 | 12949 | 11989 | 11015 | 10306 | 9702  |
| Tier 2                       | 27604 | 26636 | 25176 | 23623 | 21986 | 20333 | 18865 |

### 5.2.7 Hoja “Parque nacional”

En esta pestaña, “Parque Nacional” se ubica el parque desagregado según zona geográfica, para 1 solo año, correspondiente al año indicado en la pestaña Principal, celda E5.

La desagregación a nivel de zona geográfica se realiza utilizando el parque total a nivel nacional, desde la tabla dinámica en la celda AF6 de la pestaña “BD em” y la distribución del parque en la pestaña “Distrib geográfica”. La Figura 5-22 presenta una vista de la pestaña “Parque Nacional”.

Figura 5-22. Vista pestaña “Parque nacional”

| Parque Nacional Año Inventario: 2029 |         |             |       | Ir a la hoja "Leeme" |          |              |            | Ir a la hoja "F |       |  |
|--------------------------------------|---------|-------------|-------|----------------------|----------|--------------|------------|-----------------|-------|--|
| Parque por zona geografica           |         |             |       | Agrícola             | Forestal | Construcción | Industrial | Minería         |       |  |
| Parque total                         |         |             |       | 19,628.76            | -        | 41,929.28    | 25,948.47  | -               |       |  |
| Parque por zona geografica           |         |             |       |                      |          |              |            |                 |       |  |
| País                                 | Zona    | Nombre zona | agfo  | For                  | Constr   | ind          | min        | Total           | Orden |  |
| Colombia                             | Zona 1  | Amazonas    | 209   | -                    | 25       | 3            | -          | 237             | 30    |  |
| Colombia                             | Zona 2  | Antioquia   | 1,785 | -                    | 6,946    | 4,973        | -          | 13,705          | 1     |  |
| Colombia                             | Zona 3  | Arauca      | 163   | -                    | 124      | 28           | -          | 315             | 28    |  |
| Colombia                             | Zona 4  | Atlántico   | 21    | -                    | 1,941    | 1,513        | -          | 3,475           | 7     |  |
| Colombia                             | Zona 5  | Bogotá D.C. | 12    | -                    | 7,352    | 4,730        | -          | 12,094          | 2     |  |
| Colombia                             | Zona 6  | Bolívar     | 522   | -                    | 2,280    | 1,324        | -          | 4,126           | 6     |  |
| Colombia                             | Zona 7  | Boyacá      | 663   | -                    | 1,835    | 698          | -          | 3,196           | 9     |  |
| Colombia                             | Zona 8  | Caldas      | 753   | -                    | 709      | 436          | -          | 1,897           | 15    |  |
| Colombia                             | Zona 9  | Caquetá     | 259   | -                    | 292      | 26           | -          | 577             | 25    |  |
| Colombia                             | Zona 10 | Casanare    | 542   | -                    | 273      | 86           | -          | 902             | 21    |  |
| Colombia                             | Zona 11 | Cauca       | 1,224 | -                    | 1,065    | 650          | -          | 2,939           | 10    |  |
| Colombia                             | Zona 12 | Cesar       | 576   | -                    | 579      | 142          | -          | 1,297           | 18    |  |
| Colombia                             | Zona 13 | Chocó       | 647   | -                    | 138      | 8            | -          | 792             | 23    |  |

### 5.2.8 Hoja “Resultados costos”

La pestaña “Resultados costos” utiliza datos de la tabla dinámica en celda AB3 de la pestaña “BD costos”. Esta pestaña (Resultados costos) contiene los costos de inversión y de operación y mantención para todo

el periodo de evaluación **para la ciudad seleccionada**. Nótese que la pestaña “BD costos” contiene los datos de costos a nivel nacional, mientras que el análisis costo-beneficio se realiza para **una** ciudad a la vez. Debido a esto, para calcular los costos a nivel de ciudad se utilizan los datos de distribución geográfica de la flota, almacenados en la pestaña “Distribución geográfica”.

La participación de la maquinaria, según rubro, con respecto a la maquinaria total nacional se única en las celdas E4:E8. El total de dichos porcentajes no suma 100%, debido a que la suma a través de diferentes zonas geográficas para un mismo rubro debe sumar 100%, pero no así el total de los diferentes sectores en una misma zona geográfica.

Además de los costos asociados a cada año de la evaluación, en esta pestaña se calculan los valores presentes (utilizando tasa de descuento contante y variable en el tiempo) de los mismos. Estos valores son utilizados en la pestaña “ACB”.

La Figura 5-23 presenta una vista de la pestaña “Resultados costos”.

Figura 5-23. Vista pestaña “Resultados costos”

| Costos                        |              |             | Ir a la hoja "Leeme" |      |      |      | Ir a la hoja "Principal" |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------------|-------------|----------------------|------|------|------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| PARTICIPACION FLOTA EN Bogotá |              |             |                      |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Rubro        | codigo      | Participacion        |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Agrícola     | bo.co.agfo  | 0.06%                |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Forestal     | bo.co.for   | 0.00%                |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Construcción | bo.co.const | 17.53%               |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Industrial   | bo.co.ind   | 18.23%               |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Minería      | bo.co.min   | 0.00%                |      |      |      |                          |        |        |        |        |
| Costos de inversion           |              |             |                      |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Rubro        | Unidad      | 2018                 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022                     | 2023   | 2024   | 2025   | 2026   |
|                               | Agrícola     | dolares     | -                    | -    | -    | -    | -                        | 10     | 16     | 21     | 25     |
|                               | Forestal     | dolares     | -                    | -    | -    | -    | -                        | -      | -      | -      | -      |
|                               | Construcción | dolares     | -                    | -    | -    | -    | -                        | 12,357 | 21,159 | 27,835 | 31,702 |
|                               | Industrial   | dolares     | -                    | -    | -    | -    | -                        | 9,645  | 17,839 | 24,936 | 31,434 |
|                               | Minería      | dolares     | -                    | -    | -    | -    | -                        | -      | -      | -      | -      |
| Costos de operación           |              |             |                      |      |      |      |                          |        |        |        |        |
|                               | Rubro        | Unidad      | 2018                 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022                     | 2023   | 2024   | 2025   | 2026   |

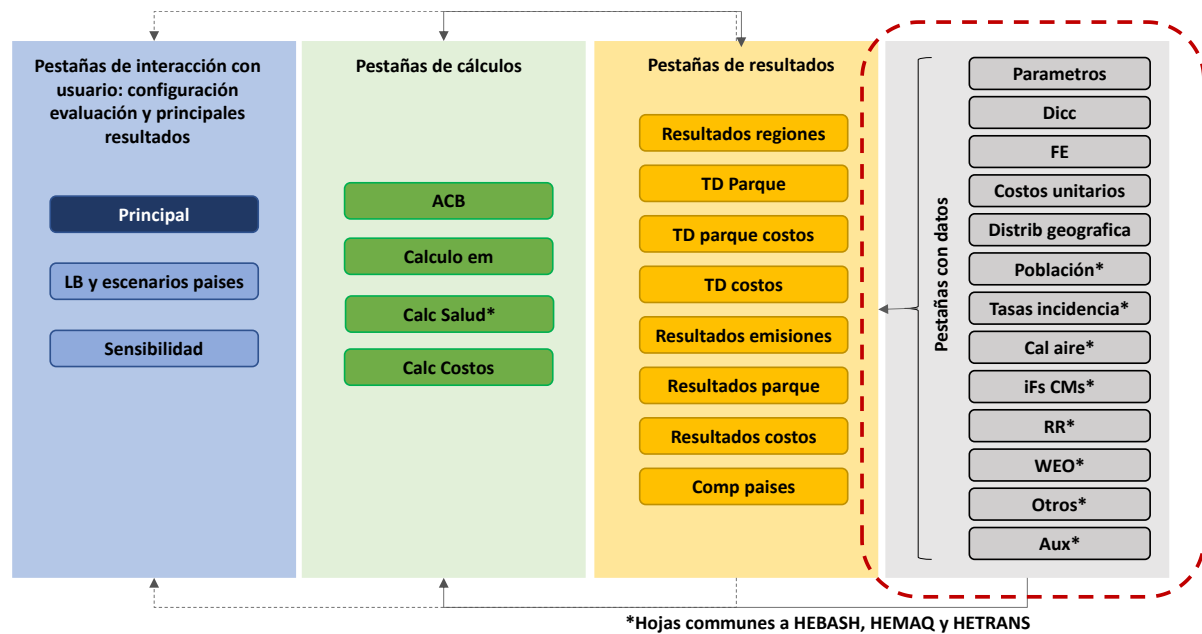
### 5.3 Pestañas de datos y auxiliares

En esta sección se describen las pestañas de la herramienta que contienen datos, diccionarios de datos y otros. El diagrama de las pestañas de la herramienta, resaltando dichas hojas, se presenta a continuación.

Figura 5-24. Esquema hojas en planilla HEMAQ, resaltando las hojas correspondientes a datos y pestañas auxiliares (en gris).



Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



5.3.1 Hoja “Parametros”

La Figura 5-25 presenta una vista (en modo comprimido) a la pestaña “Parametros”. Esta pestaña incluye las equivalencias entre los estándares de emisiones de la EPA y de la EEA, los niveles de actividad asociados a cada tipo de maquinaria, el factor de carga entre otros parámetros requeridos para el calculo de las emisiones. La metodología y la descripción de estos parámetros se encuentra en la sección 6.4.1 de Anexos.

Figura 5-25. Vista a pestaña “Parametros”

|     | A                                                                                                                                                   | B                          | C                     | D | E | F            | G |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---|---|--------------|---|
| 1   | Parametros calculo de emisiones                                                                                                                     | Ir a la hoja "Leeme"       | Ir a hoja "Principal" |   |   | Modificables |   |
| 2   |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 3   | Tabla 5: Equivalencias entre Estándar de Emisiones EPA y Stage5                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 12  |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 13  | Tabla 7 Nivel de actividad por tipo de maquinaria (NA)                                                                                              |                            |                       |   |   |              |   |
| 61  |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 62  | Tabla 8 Factor de carga (FC)                                                                                                                        |                            |                       |   |   |              |   |
| 110 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 111 | Tabla 9 Valores del coeficiente A                                                                                                                   |                            |                       |   |   |              |   |
| 126 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 127 | Tabla 10 Vida media según potencia de motor diésel                                                                                                  |                            |                       |   |   |              |   |
| 139 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 140 | Tabla 11 Factor de Ajuste Transitorio por tipología (FAT)                                                                                           |                            |                       |   |   |              |   |
| 192 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 193 | Otros parametros                                                                                                                                    |                            |                       |   |   |              |   |
| 243 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 244 | Retiro de maquinaria, (EPA, 2005) Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrappage                                       |                            |                       |   |   |              |   |
| 245 |                                                                                                                                                     | Maquinaria por retirar (%) |                       |   |   |              |   |
| 297 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 298 | Factor de carga y Nivel Actividad, Appendix A, EPA 2010. Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling |                            |                       |   |   |              |   |
| 764 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |
| 765 | Factor cárter HC                                                                                                                                    |                            |                       |   |   |              |   |
| 771 |                                                                                                                                                     |                            |                       |   |   |              |   |

5.3.2 Hoja “Dicc”

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

La pestaña “Dicc” contiene diccionarios de datos utilizados en la planilla. Por ejemplo, entre las filas 3 a 59 se encuentran los nombres de las tipologías “uniformados”, los códigos creados para las tipologías, los códigos SCC y el nombre de los tipos de maquinarias utilizados por la EPA. La tabla indica también los nombres utilizados en cada país para referirse a los distintos tipos de maquinaria.

Como se ve en la Figura 5-26, se incluyen diccionarios entre potencias (fila 61) y entre estándares de emisión (fila 74).

Figura 5-26. Vista a pestaña “Dicc”

|    |   |                                        |     |                       |                      |                       |            |
|----|---|----------------------------------------|-----|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------|
| 1  | 2 | A                                      | B   | C                     | D                    | E                     | F          |
| 1  |   | Diccionarios de tipologías y potencias |     | Ir a hoja "Principal" | Ir a la hoja "Leeme" |                       |            |
| 2  |   | Tipologías                             |     |                       |                      |                       |            |
| 60 |   |                                        |     |                       |                      |                       |            |
| 61 |   | Potencias                              |     |                       |                      |                       |            |
| 73 |   |                                        |     |                       |                      |                       |            |
| 74 |   | Estándares                             |     |                       |                      |                       |            |
| 75 |   | EF standards                           | DPF | SCR                   | BC factor            | Para FAT HC, CO, BSFC |            |
| 76 |   | Tier 0                                 |     |                       | Pre Stage I          | T0-T3                 | T0-T2      |
| 77 |   | Tier 1                                 |     |                       | Stage I              | T0-T3                 | T0-T2      |
| 78 |   | Tier 2                                 |     |                       | Stage II             | T0-T3                 | T0-T2      |
| 79 |   | Tier 3                                 |     |                       | Stage IIIA           | T0-T3                 | T3         |
| 80 |   | Tier 3B                                | No  | Si                    | Stage IIIA           | T0-T3                 | Sin Ajuste |
| 81 |   | Tier 4                                 | No  | No                    | Stage IIIB, no DPF   | Sin Ajuste            | Sin Ajuste |
| 82 |   | Tier 4B                                | NO  | Si                    | Stage IV, no DPF     | Sin Ajuste            | Sin Ajuste |
| 83 |   | Tier 4I                                | No  | No                    | Stage IIIB, no DPF   | Sin Ajuste            | Sin Ajuste |
| 84 |   | Tier 4IB                               | No  | Si                    | Stage IV, no DPF     | Sin Ajuste            | Sin Ajuste |
| 85 |   | Tier 4IC                               | Si  | No                    | Stage V              | Sin Ajuste            | Sin Ajuste |

### 5.3.3 Hoja “FE”

La pestaña “FE” contiene los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones. Se incluyen 3 grupos de factores de emisión (entre los que el usuario selecciona en la pestaña Principal, celda E9):

- **Factores EPA.** Ubicados entre las columnas B y J. Corresponden a los FE de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en ingles).
- **Factores EEA.** Ubicados entre las columnas L a V. Corresponden a los FE de la Agencia de Protección Ambiental Europea (EEA por sus siglas en ingles)
- **Factores CORINAIR GEASUR 2014.** Ubicados entre las columnas X a AB. Corresponden a los factores de emisión utilizados en inventarios de emisiones de Chile.

Los factores a utilizar, de acuerdo a la selección del usuario se encuentran entre las columnas AD a AI. La Figura 5-27 presenta una vista de esta pestaña.

Figura 5-27. Vista a pestaña “FE”

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|    | A                                                                                          | B                    | C          | D                               | E     | F      | G     | H             | I       | J | K                    | L                       | M     | N     | O      | P     | Q |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|---------------------------------|-------|--------|-------|---------------|---------|---|----------------------|-------------------------|-------|-------|--------|-------|---|
| 1  | Factor de emisión equipo nuevos y consumo de combustible [g/kW-h Ir a la hoja "Principal"] |                      |            |                                 |       |        |       |               |         |   | Ir a la hoja "Leeme" |                         |       |       |        |       |   |
| 2  | Potencia Motor [kW]                                                                        | Estándar Emisión EPA | [g/kW- hr] | Factor de Emisión [g/kW-hr] EPA |       |        |       |               |         |   | Estándar Emisión EEA | Factor de Emisión [g/kv |       |       |        |       |   |
| 3  |                                                                                            |                      | FE BSFC    | FE HC                           | FE CO | FE NOx | FE PM | FE PM g/bhp h | soxcnv  |   |                      | FE BSFC                 | FE HC | FE CO | FE NOx | FE PM |   |
| 4  | >0 A 8                                                                                     | Tier 0               | 248.18     | 2.01                            | 6.71  | 13.41  | 1.34  | 1.00000       | 0.02247 |   | Pre Stage I          | 285                     | 3.8   | 6.00  | 11.50  | 2.30  |   |
| 5  | >0 A 8                                                                                     | Tier 1               | 248.18     | 1.02                            | 5.52  | 7.01   | 0.60  | 0.44700       | 0.02247 |   | Stage I              | 270                     | 2.5   | 5.00  | 11.20  | 1.60  |   |
| 6  | >0 A 8                                                                                     | Tier 2               | 248.18     | 0.74                            | 5.52  | 5.77   | 0.67  | 0.50000       | 0.02247 |   | Stage II             |                         |       |       |        |       |   |
| 7  | >0 A 8                                                                                     | Tier 4F              | 248.18     | 0.86                            | 2.91  | 5.50   | 0.27  | 0.19900       | 0.02247 |   | Stage IV             |                         |       |       |        |       |   |
| 8  | >0 A 8                                                                                     |                      |            |                                 |       |        |       | 0.29828       | 0.02247 |   | Stage V              | 270                     | 0.68  | 4.80  | 6.08   | 0.40  |   |
| 9  | >8 A 19                                                                                    | Tier 0               | 248.18     | 2.28                            | 6.71  | 11.40  | 1.21  | 0.90000       | 0.02247 |   | Pre Stage I          | 285                     | 3.8   | 6.00  | 11.50  | 2.30  |   |
| 10 | >8 A 19                                                                                    | Tier 1               | 248.18     | 0.59                            | 2.90  | 5.95   | 0.36  | 0.26650       | 0.02247 |   | Stage I              | 270                     | 2.5   | 5.00  | 11.20  | 1.60  |   |
| 11 | >8 A 19                                                                                    | Tier 2               | 248.18     | 0.59                            | 2.90  | 5.95   | 0.36  | 0.26650       | 0.02247 |   | Stage II             |                         |       |       |        |       |   |
| 12 | >8 A 19                                                                                    | Tier 4F              | 248.18     | 0.57                            | 2.31  | 5.22   | 0.23  | 0.17250       | 0.02247 |   | Stage IV             |                         |       |       |        |       |   |
| 13 | >8 A 19                                                                                    |                      |            |                                 |       |        |       | 0.29828       | 0.02247 |   | Stage V              | 270                     | 0.68  | 3.96  | 6.08   | 0.40  |   |
| 14 | >19 A 37                                                                                   | Tier 0               | 248.18     | 2.41                            | 6.71  | 9.25   | 1.07  | 0.80000       | 0.02247 |   | Pre Stage I          | 281                     | 2.2   | 5.50  | 18.00  | 1.40  |   |
| 15 | >19 A 37                                                                                   | Tier 1               | 248.18     | 0.37                            | 2.05  | 6.34   | 0.45  | 0.33890       | 0.02247 |   | Stage I              | 262                     | 1.8   | 4.50  | 9.80   | 1.40  |   |
| 16 | >19 A 37                                                                                   | Tier 2               | 248.18     | 0.37                            | 2.05  | 6.34   | 0.45  | 0.33890       | 0.02247 |   | Stage II             | 262                     | 0.6   | 2.20  | 6.50   | 0.40  |   |

### 5.3.4 Hoja "Costos unitarios"

Figura 5-28. Vista a pestaña "Costos unitarios"

|     |                                  |                |                  |          |          |          |          |          |           |
|-----|----------------------------------|----------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 122 | COSTOS ANUALIZADOS, DOLARES 2018 |                |                  |          |          |          |          |          |           |
| 123 |                                  |                |                  |          |          |          |          |          |           |
| 124 | Estandar inicial                 | Estandar final | Tipo costo       | >0 A 8   | >8 A 19  | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 100 |
| 125 | Tier 0                           | Tier 1         | Costos inversion | \$6.53   | \$6.53   | \$6.53   | \$0.00   | \$0.00   |           |
| 126 | Tier 0                           | Tier 1         | Costos O&M       | \$81.23  | \$81.23  | \$81.23  | \$0.00   | \$0.00   |           |
| 127 | Tier 1                           | Tier 2         | Costos inversion | \$32.27  | \$32.27  | \$32.27  | \$40.45  | \$40.45  |           |
| 128 | Tier 1                           | Tier 2         | Costos O&M       | \$81.23  | \$81.23  | \$81.23  | \$44.26  | \$44.26  |           |
| 129 | Tier 2                           | Tier 3         | Costos inversion | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$57.25  | \$57.25  |           |
| 130 | Tier 2                           | Tier 3         | Costos O&M       | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$90.53  | \$90.53  |           |
| 131 | Tier 3                           | Tier 4I        | Costos inversion | \$82.86  | \$82.86  | \$92.11  | \$354.05 | \$354.05 |           |
| 132 | Tier 3                           | Tier 4I        | Costos O&M       | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   |           |
| 133 | Tier 4I                          | Tier 4F        | Costos inversion | \$0.00   | \$0.00   | \$2.37   | \$39.44  | \$75.22  |           |
| 134 | Tier 4I                          | Tier 4F        | Costos O&M       | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   |           |
| 135 | Tier 4F                          | Stage V        | Costos inversion | \$1.02   | \$1.02   | \$36.40  | \$29.82  | \$68.73  |           |
| 136 | Tier 4F                          | Stage V        | Costos O&M       | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   | \$0.00   |           |
| 137 |                                  |                |                  |          |          |          |          |          |           |
| 138 | Tier 0                           | Tier 2         | Costos inversion | \$38.80  | \$38.80  | \$38.80  | \$40.45  | \$40.45  |           |
| 139 | Tier 0                           | Tier 2         | Costos O&M       | \$162.46 | \$162.46 | \$162.46 | \$44.26  | \$44.26  |           |
| 140 | Tier 0                           | Tier 3         | Costos inversion | \$38.80  | \$38.80  | \$38.80  | \$97.70  | \$97.70  |           |
| 141 | Tier 0                           | Tier 3         | Costos O&M       | \$162.46 | \$162.46 | \$162.46 | \$134.78 | \$134.78 |           |

### 5.3.5 Hoja "Distrib geografica"

La pestaña "Distrib geográfica" contiene los datos utilizados para distribuir el parque nacional a nivel subnacional según rubro. La metodología y fuentes de datos utilizados se encuentran en la sección 6.4.3 de Anexos. La primera columna indica el código asociado a la zona geográfica y rubro, mientras que la columna G indica el valor de participación porcentual de cada zona geográfica y rubro en el total nacional correspondiente a cada rubro. La Figura 5-29 presenta una vista de esta pestaña.

Figura 5-29. Vista a pestaña "Distrib geografica"

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Datos para distribución geográfica de maquinaria |        |        |                    | Ir a hoja "Principal"    |             | Ir a la hoja "Leeme" |         | País  | Fuente                                      |
|--------------------------------------------------|--------|--------|--------------------|--------------------------|-------------|----------------------|---------|-------|---------------------------------------------|
| Código                                           | código | sector | serie              | área                     | valor serie | Valor distri         | Zona    |       |                                             |
| ta.ch.constr                                     | ta.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Tarapacá       | 380,278     | 2%                   | Zona 1  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| an.ch.constr                                     | an.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Antofagasta    | 545,461     | 3%                   | Zona 2  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| at.ch.constr                                     | at.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Atacama        | 235,199     | 1%                   | Zona 3  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| co.ch.constr                                     | co.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Coquimbo       | 773,681     | 4%                   | Zona 4  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| va.ch.constr                                     | va.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Valparaíso     | 2,154,126   | 11%                  | Zona 5  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| oh.ch.constr                                     | oh.ch  | constr | m2 construccion    | Región de O'Higgins      | 877,725     | 5%                   | Zona 6  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ml.ch.constr                                     | ml.ch  | constr | m2 construccion    | Región del Maule         | 1,343,632   | 7%                   | Zona 7  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| bb.ch.constr                                     | bb.ch  | constr | m2 construccion    | Región del Biobío        | 1,900,898   | 10%                  | Zona 8  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ar.ch.constr                                     | ar.ch  | constr | m2 construccion    | Región de la Araucanía   | 1,293,797   | 7%                   | Zona 9  | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ll.ch.constr                                     | ll.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Los Lagos      | 829,832     | 4%                   | Zona 10 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ai.ch.constr                                     | ai.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Aysén          | 89,151      | 0%                   | Zona 11 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| mg.ch.constr                                     | mg.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Magallanes y   | 264,316     | 1%                   | Zona 12 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| rm.ch.constr                                     | rm.ch  | constr | m2 construccion    | Región Metropolitana     | 7,636,891   | 40%                  | Zona 13 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| lr.ch.constr                                     | lr.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Los Ríos       | 547,407     | 3%                   | Zona 14 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ap.ch.constr                                     | ap.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Arica y Parina | 268,036     | 1%                   | Zona 15 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| nu.ch.constr                                     | nu.ch  | constr | m2 construccion    | Región de Ñuble          | 78,824      | 0%                   | Zona 16 | Chile | INE, Permisos de edificación Cuadro 1.2, 20 |
| ta.ch.min                                        | ta.ch  | min    | tmf cobre, minería | Región de Tarapacá       | 538275      | 0.097319567          | Zona 1  | Chile | SERNAGEOMIN n.d.                            |
| an.ch.min                                        | an.ch  | min    | tmf cobre, minería | Región de Antofagasta    | 2903154     | 0.524886933          | Zona 2  | Chile | SERNAGEOMIN n.d.                            |

### 5.3.6 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 5-30 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 5-30. Pestaña "Población".

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

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 5-31.

Figura 5-31. Códigos de ciudades definidos en pestaña "Aux".

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|    | A                                      | B             | C             | D             |
|----|----------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1  | <b>Zona geográfica</b>                 |               |               |               |
| 2  | <b>Nombre</b>                          | <b>Codigo</b> | <b>Pais 1</b> | <b>Pais 2</b> |
| 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         |

### 5.3.6.1 Preparación de datos para hoja "Población"

### 5.3.7 Hoja "Tasas incidencia"

La pestaña "Tasas incidencia" contiene las tasas de incidencia base de mortalidad ("death"), años de vida perdidos (yll), 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              |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

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 5-32 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 5-32. Vista la pestaña “Tasas incidencia”.

**Código: país.metric.enfermedad.rango\_edad**      **Tasa de incidencia, cada 10<sup>5</sup> habitantes**

|   | codigo                 | location_ | 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.

### 5.3.7.1 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 5-33.

Figura 5-33. 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 | <b>Zona geográfica</b>                 |               |               |               |
| 2 | <b>Nombre</b>                          | <b>Codigo</b> | <b>País 1</b> | <b>País 2</b> |
| 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<sup>5</sup> habitantes.
- **Nota.** Esta columna es opcional. Puede utilizarse para agregar notas de interés para el usuario de la herramienta.

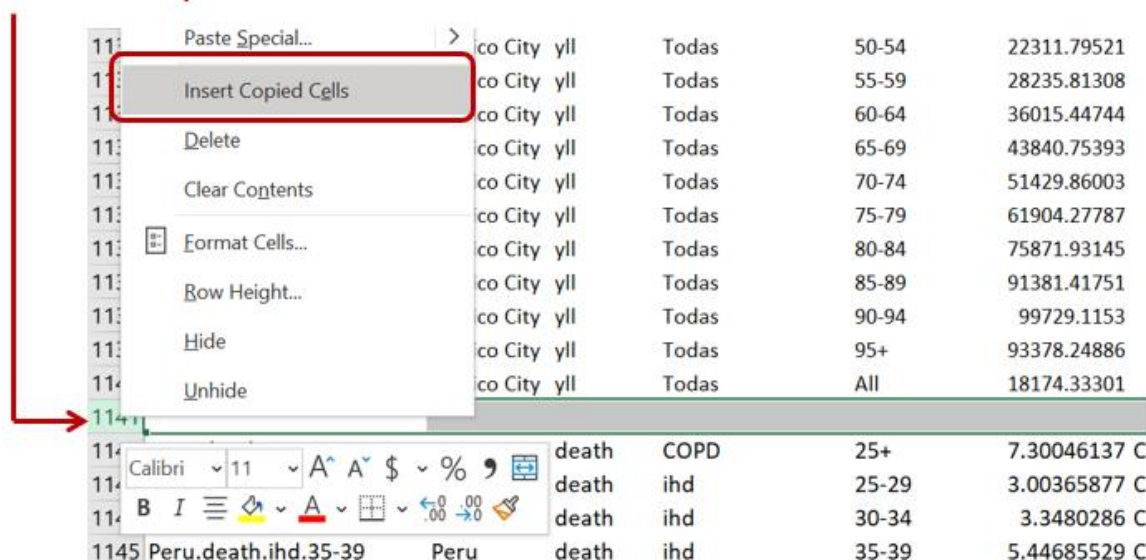
Al cargar un nuevo set de información, **se recomienda insertar los nuevos datos entremedio de los datos ya cargados**, en vez de agregarlos al final de la pestaña. Insertar los datos entre medio permitirá que todas las referencias a esta pestaña de datos se actualicen, con lo que no será necesario modificar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

La Figura 5-34 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 5-34. Ejemplo de inserción de datos en pestaña “Tasas de incidencia”.



## Fila en la que se insertaran los datos



## 5.3.8 Hoja “Cal aire”

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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En esta pestaña, la primera columna corresponde al código de cada fila de datos, el que es leído desde la pestaña “Calc Salud”. El código corresponde a la unión del código de la ciudad o región (en hoja Aux) e el código pm25. Por ejemplo, para la ciudad de Bogotá, el código de área corresponde a “bo.co”, con lo que el código de datos en la columna A es “bo.co.pm25”. La Figura 5-35 presenta la vista de la pestaña, resaltando la columna A, correspondiente al código de datos, la columna C, correspondiente al código de la zona geográfica (ciudad o región) y los datos de concentración anual.

Figura 5-35. Vista pestaña “Cal aire”.

Código datos

Código de zona geográfica

Concentración anual de PM2.5

|   | A                                                | B            | C        | D                                   | E    | F            | G    | H    | I    | J    | K    | L    |  |
|---|--------------------------------------------------|--------------|----------|-------------------------------------|------|--------------|------|------|------|------|------|------|--|
| 1 | Concentración anual de material particulado fino |              |          |                                     |      | Modificables |      |      |      |      |      |      |  |
| 2 | Codigo                                           | Series       | codigo z | nombre zona                         | 2016 | 2017         | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |  |
| 3 | ai.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | ai.ch    | Región de Aisén, Chile              | 66.5 | 48.5         | 45   | 34   |      |      |      |      |  |
| 4 | an.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | an.ch    | Región de Antofagasta, Chile        | 9    | 8            | 9    | 12   |      |      |      |      |  |
| 5 | ap.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | ap.ch    | Región de Arica y Parinacota, Chile | 11   | 12           | 13   | 11   |      |      |      |      |  |
| 6 | ar.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | ar.ch    | Región de La Araucanía, Chile       | 39.3 | 33.5         | 34.3 | 25.3 |      |      |      |      |  |
| 7 | at.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | at.ch    | Región de Atacama, Chile            | 11.5 | 12           | 12.5 | 10.5 |      |      |      |      |  |
| 8 | bb.ch.pm25                                       | PM2.5 annual | bb.ch    | Región del Biobío, Chile            | 20.7 | 22.1         | 22.4 | 18.9 |      |      |      |      |  |

## 5.3.8.1 Preparación de datos para hoja “Cal aire”

Para incorporar nuevos datos disponibles para zonas geográficas precargadas en la herramienta, el usuario simplemente debe modificar las celdas correspondientes al año de los datos de calidad del aire (columnas E a L, años 2016 a 2023).



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 5-36. Vista pestaña “Cal aire”, columna A, asociada al código de la fila de datos.

Figura 5-36. 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 annual | ai.ch    | Región de Aisén, Chile       |
| an.ch.pm2.5                                      | PM2.5 annual | 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 5-37 presenta la vista de la pestaña Aux. **La pestaña Aux requiere ser modificada únicamente si se desea agregar una nueva ciudad de análisis.**

Figura 5-37. 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      | 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   |

- **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).

### 5.3.9 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 5-38 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 5-38. Vista pestaña “iFs CMs”.

**Código de datos**

**Datos correspondientes a “Matriz Em-conc (Fantke et al. 2017)”**

**Datos correspondientes a “Intake fraction (Apte et al. 2012)”**

| A                                                                          | B                        | C                  | D        | E                                  | F                                      | G                               |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------|------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| Intake fractions y matrices emision-concentración, Fantke 2017 y Apte 2012 |                          |                    |          |                                    |                                        |                                 |
| Código 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                            |
| zmm.me                                                                     | Mexico (Mexico)          | Zona Metropolitana | Mexico   | 0.000750089                        | 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:

- **Código 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.

### 5.3.9.1 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.

### 5.3.10 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.

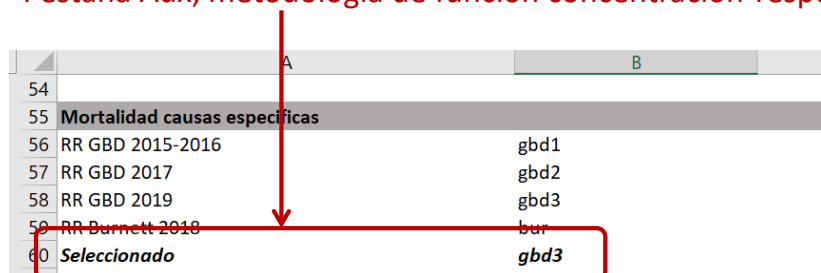
Tabla 5-3. Metodologías funciones concentración-respuesta incluidas en la herramienta

| 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 5-39. Vista pestaña Aux, funciones concentración-respuesta y sus códigos.

**Pestaña Aux, metodología de función concentración-respuesta seleccionada.**



|    | A                                    | B           |
|----|--------------------------------------|-------------|
| 54 |                                      |             |
| 55 | <b>Mortalidad causas específicas</b> |             |
| 56 | RR GBD 2015-2016                     | gbd1        |
| 57 | RR GBD 2017                          | gbd2        |
| 58 | RR GBD 2019                          | gbd3        |
| 59 | RR Burnett 2018                      | bur         |
| 60 | <b>Selecionado</b>                   | <b>gbd3</b> |

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 5-40 presenta una vista de esta pestaña.

Figura 5-40. 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”.

### 5.3.10.1 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”.

### 5.3.11 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 5-41 presenta una vista de esta hoja de cálculo.

Figura 5-41. Vista pestaña de datos WEO.

|    | A                                                                                                                                                                                                                                              | B          | C        | D                                           | E                                  | F     | G                                                             | H    | I    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|---------------------------------------------|------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------|------|------|
| 1  | International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2020 & October 2019, <a href="https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/02/weodata/index.aspx">https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/02/weodata/index.aspx</a> |            |          |                                             |                                    |       |                                                               |      |      |
| 2  | Codigo                                                                                                                                                                                                                                         |            | Country  | Subject Descriptor                          | Units                              | Scale | Country/Series                                                | 2011 | 2012 |
| 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   |      |      |
| 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   |      |      |
| 10 | Peru.pib.cambio                                                                                                                                                                                                                                | pib.cambio | Peru     | Gross domestic product per capita, constant | Purchasing power parity; percent   |       | Source: Central Bank Latest actual data: 2019                 |      |      |
| 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 (Nation |      |      |
| 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 (Nation |      |      |
| 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 (Nation |      |      |
| 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 (Nation |      |      |

Como se resalta en la Figura 5-41, 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 descriptorios de los datos.

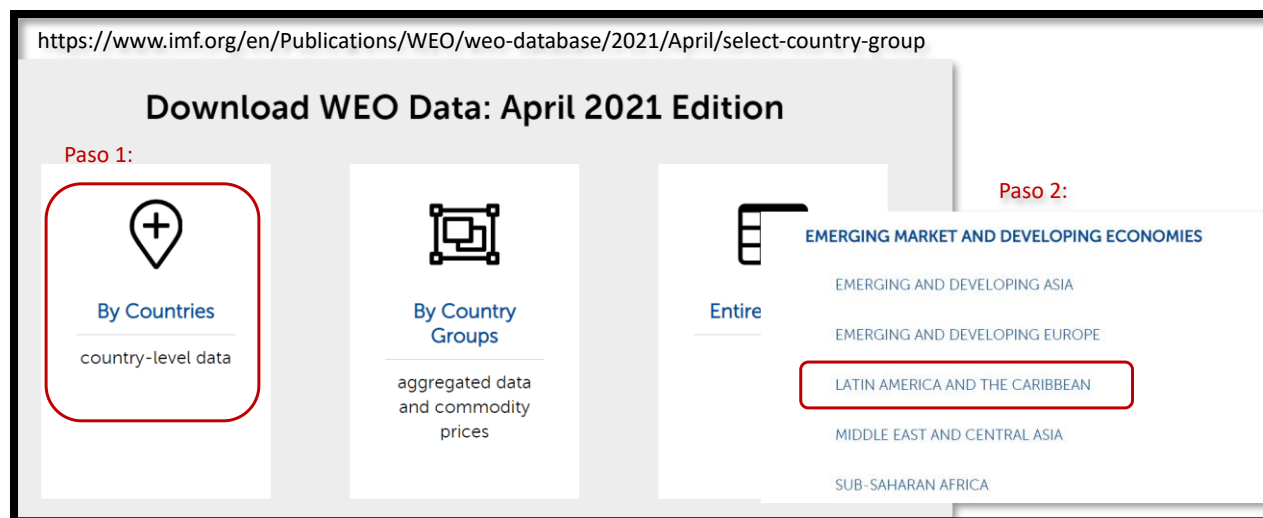
La pestaña también contiene datos económicos adicionales que no son utilizados en los cálculos, pero que pueden proveer de información relevante al usuario.

#### 5.3.11.1 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 5-42. 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 5-43.

Figura 5-43. 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 5-44.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Figura 5-44. Vista pestaña Calc Salud

FIND

X

✓

fx

=INDEX(\$I\$324:\$V\$324,MATCH(T0,\$I\$322:\$V\$322,0))/I324

Not set

Official U

|     |   |              |              |              |              |              |    |
|-----|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|
| 1   | 2 | 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.

### 5.3.12 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 la 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 5-45.

Figura 5-45. 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 5-37 (sección 5.3.8).

La Figura 5-46 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 5-46. 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                                                    |                                 |           |             | Valor 0   | Valor año 10 | Valor Año 20 | Fuente                  |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|--------------|-------------------------|
| codigo                                                              | serie                           | unidad    | País/ciudad |           |              |              |                         |
| 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-   |

#### 5.3.12.1 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.

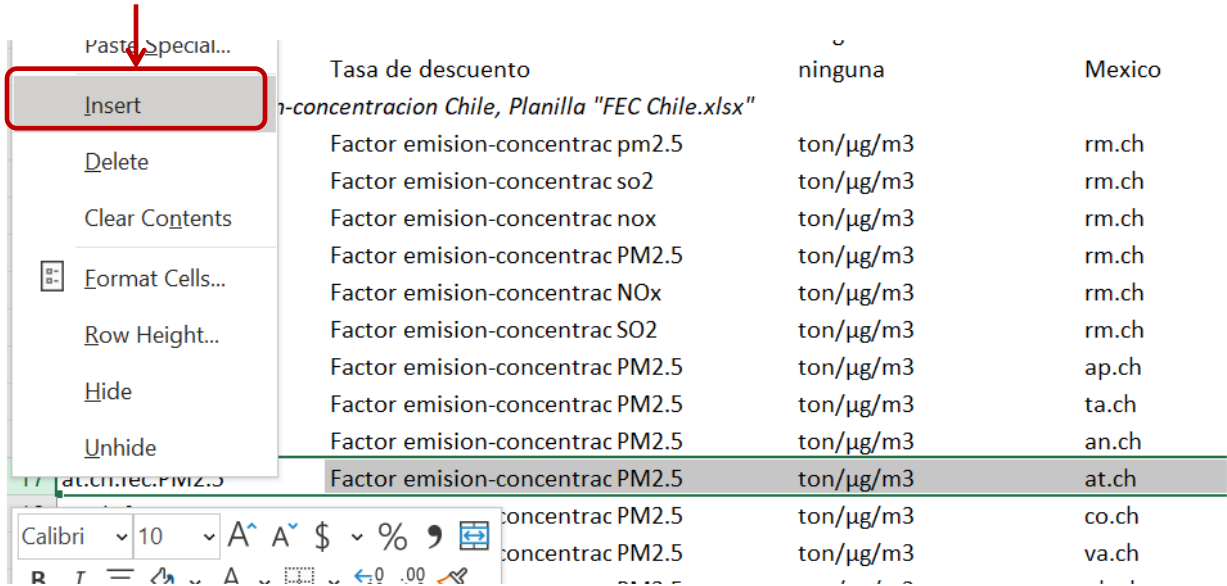
Se recomienda también indicar la fuente (columna I) de datos adicionales ingresados, de modo de poder trazar la procedencia de los datos, al igual que el nombre de la serie (columna B) y unidad de los datos (columna D).

La Figura 5-47 presenta el menú de Excel donde se permite insertar columnas de datos.

Figura 5-47. Inserción de filas de datos, pestaña “Otros”.



Inserción de nuevas filas para el ingreso de nueva información



5.3.13 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 la zonas geográficas se presentó en la Figura 5-31, Figura 5-33 y Figura 5-37. La Figura 5-39 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 5-48.

Figura 5-48. Vista pestaña “Aux”, elasticidad del ingreso a utilizar para transferencia de VSL desde países OECD.

|    |                                                                 |                     |     |
|----|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-----|
| 34 | <b>Elasticidad ingreso de acuerdo a grupo de ingresos, OECD</b> |                     |     |
| 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 |

5.3.13.1 Preparación de datos para hoja “Aux”

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 5-49.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Figura 5-49. 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  | País 1      | País 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      | Mexico   |
| 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, siguiente 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub>, exposición e impactos en salud.



Fuente: New Climate Institute<sup>1</sup>

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 las herramientas.

#### 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<sub>2.5</sub>, 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:

<sup>1</sup> Disponible en [https://ambitiontoaction.net/wp-content/uploads/2019/10/AIRPOLIM\\_ES\\_Overview\\_Oct19-1.pdf](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

$\Delta C_i$ : 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) |
|------------------------------------------|--------------|----------|
| <b><math>PM_{2.5}</math> directo</b>     | $PM_{2.5}$   | 44       |
| <b>Precursores <math>PM_{2.5}</math></b> | $SO_2$       | 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).

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

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).

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

Tabla 6-2: Fracciones de consumo (iF) y cambios en concentración de PM<sub>2,5</sub> por tonelada

| Area                        | Contaminante      | iF (ppm) | $\Delta C_{por\ ton}$ [µg/m <sup>3</sup> por ton/año] |
|-----------------------------|-------------------|----------|-------------------------------------------------------|
| <b>Lima y Callao</b>        | PM <sub>2,5</sub> | 56.3     | 1.29E-03                                              |
|                             | NOx               | 1.27     | 2.91E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.26     | 5.88E-06                                              |
| <b>Región Metropolitana</b> | PM <sub>2,5</sub> | 39.2     | 1.27E-03                                              |
|                             | NOx               | 0.88     | 2.87E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.18     | 5.79E-06                                              |
| <b>Bogotá</b>               | PM <sub>2,5</sub> | 75.2     | 1.90E-03                                              |
|                             | NOx               | 1.69     | 4.28E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.34     | 8.64E-06                                              |
| <b>ZMVM</b>                 | PM <sub>2,5</sub> | 145      | 1.35E-03                                              |
|                             | NOx               | 3.26     | 3.04E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.66     | 6.13E-06                                              |
| <b>Estado de México</b>     | PM <sub>2,5</sub> | 145      | 2.37E-03                                              |
|                             | NOx               | 3.26     | 5.34E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.66     | 1.08E-05                                              |
| <b>Ciudad de México</b>     | PM <sub>2,5</sub> | 145      | 3.17E-03                                              |
|                             | NOx               | 3.26     | 7.13E-05                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 0.66     | 1.44E-05                                              |
| <b>Tizayuca, México</b>     | PM <sub>2,5</sub> | 145      | 2.44E-01                                              |
|                             | NOx               | 3.26     | 5.50E-03                                              |
|                             | SO <sub>2</sub>   | 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 las 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  $SO_2$ , 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  $PM_{2,5}$ .

$$CM_{precursor\ ciudad} = CM_{precursor\ Humbert\ et\ al.2011} * \frac{CM_{PM_{2,5}\ ciudad\ Fantke\ et\ al.2017}}{iF_{PM_{2,5}\ Humbert\ et\ al.2011}} \quad (6-4)$$

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.

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

Tabla 6-3: Coeficientes que relacionan emisión y concentración

| Área                 | Contaminante | $CM$ [ $\mu g/m^3$ 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                        |
|                      | $NO_x$       | 4.62E-05                        |
|                      | $SO_2$       | 9.34E-06                        |
| Estado de México     | $PM_{2,5}$   | 3.61E-03                        |
|                      | $NO_x$       | 8.13E-05                        |
|                      | $SO_2$       | 1.64E-05                        |

|                         |                   |          |
|-------------------------|-------------------|----------|
| <b>Ciudad de México</b> | PM <sub>2,5</sub> | 1.54E+00 |
|                         | NO <sub>x</sub>   | 3.46E-02 |
|                         | SO <sub>2</sub>   | 6.99E-03 |
| <b>Tizayuca, México</b> | PM <sub>2,5</sub> | 6.54E-01 |
|                         | NO <sub>x</sub>   | 1.47E-02 |
|                         | SO <sub>2</sub>   | 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 las herramientas 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<sub>2,5</sub>.

### 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/m<sup>3</sup>)

$FEC_{i\text{ transporte}}$ : 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 a 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 zona<sup>2</sup>. 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

| Contaminante      | ton/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / ton |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| PM <sub>2,5</sub> | 481                           | 2.08E-03                       |
| NOx               | 4088                          | 2.45E-04                       |
| SO <sub>2</sub>   | 1410                          | 7.09E-04                       |

<sup>2</sup> Documento disponible en [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/338-374\\_AGIES.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/338-374_AGIES.pdf)



## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

*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 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por ton/año]*

| <b>Ciudad</b>    | <b>Area urbana (km<sup>2</sup>)</b> | <b>FEC de transporte a transferir</b> | <b>PM2.5</b> | <b>NOx</b> | <b>SO2</b> |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------|------------|
| 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

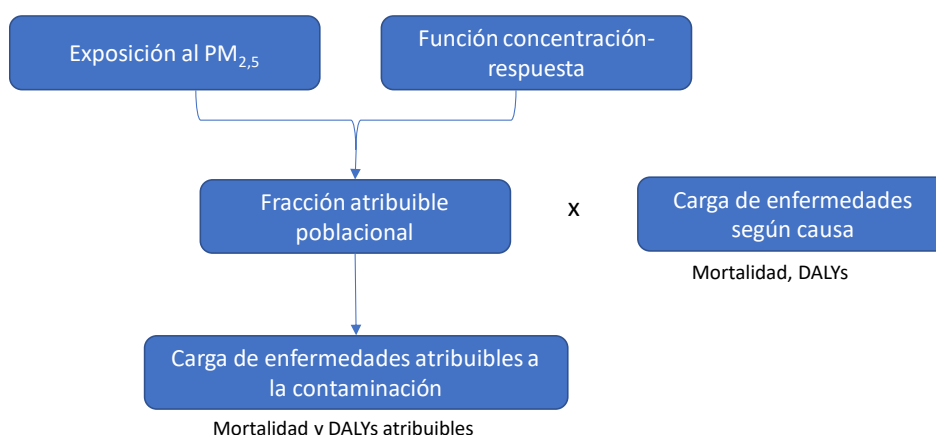
Las herramientas HEBASH, HEMAQ y HETRANS incorporan una metodología para la cuantificación de la carga de enfermedades atribuible a la contaminación. Previamente al cálculo de impactos en salud, se deben cuantificar cambios en emisiones y en concentración de  $PM_{2.5}$  en la atmósfera.

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 las herramientas 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 <sup>3</sup> | 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.

<sup>3</sup> 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<sub>2.5</sub> 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

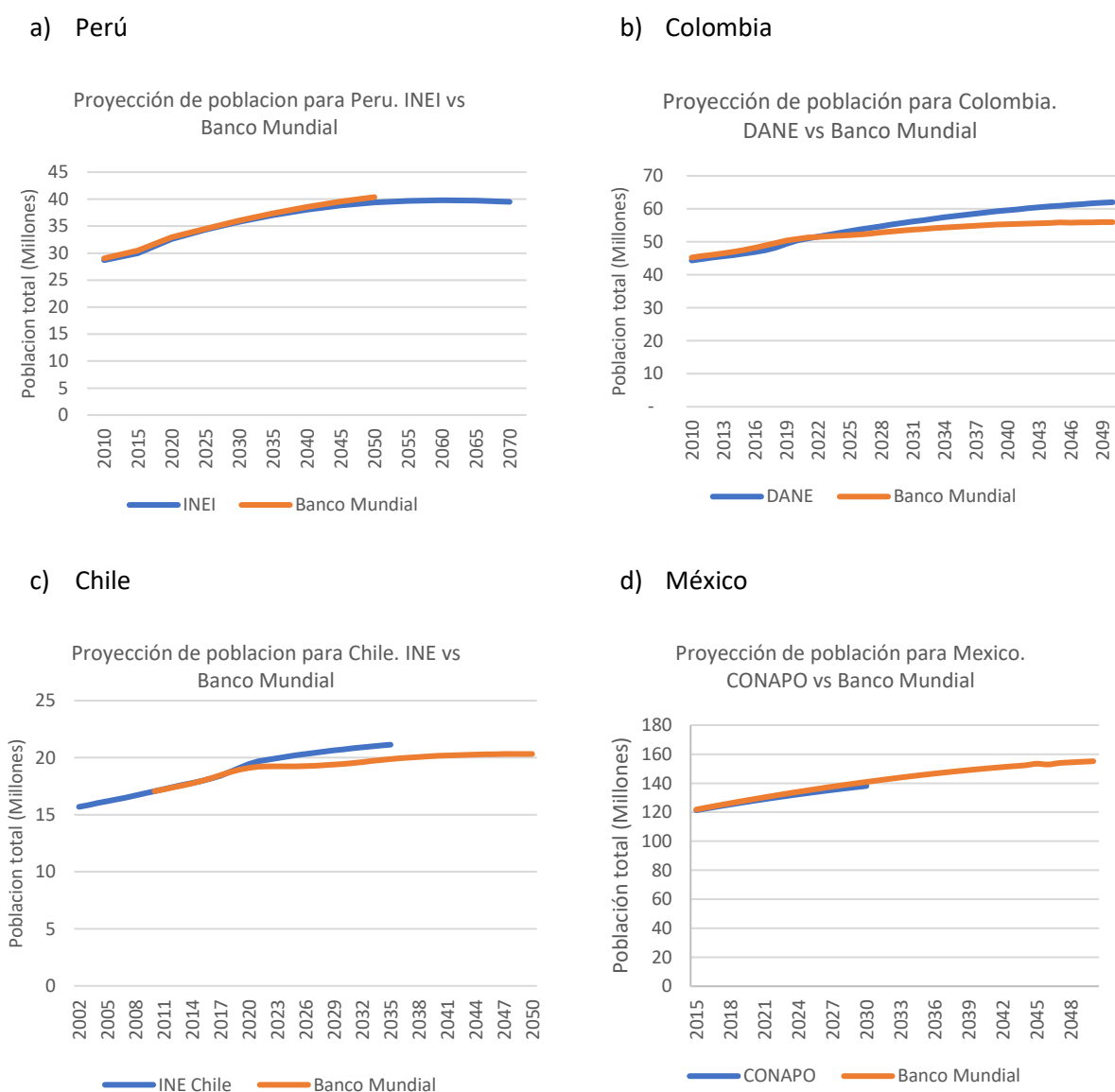
## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

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), INE<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> 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

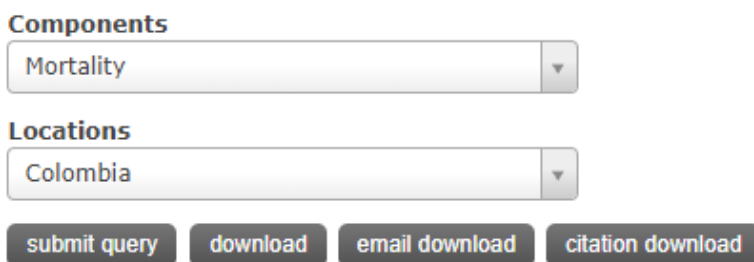
Las tasas de mortalidad, tasas de YLL e YLD corresponden a las reportadas por IHME (2018) para el año 2017, en la herramienta “GBD Results tool”. Dichas tasas han sido calculadas a partir de información local, reportada por los países.

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 <sup>5</sup>                        | (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)                   |

<sup>5</sup> 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,  $\eta$ , ingresada por el usuario
- ii. VSL transferido OECD ( $\eta$  de acuerdo con el nivel ingresos)
- iii. VSL transferido USA ( $\eta$  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

$\eta$ : 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  $\eta$  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 <sup>6</sup> | $\eta$ |
|----------|------------------------------------------------|--------|
| 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)

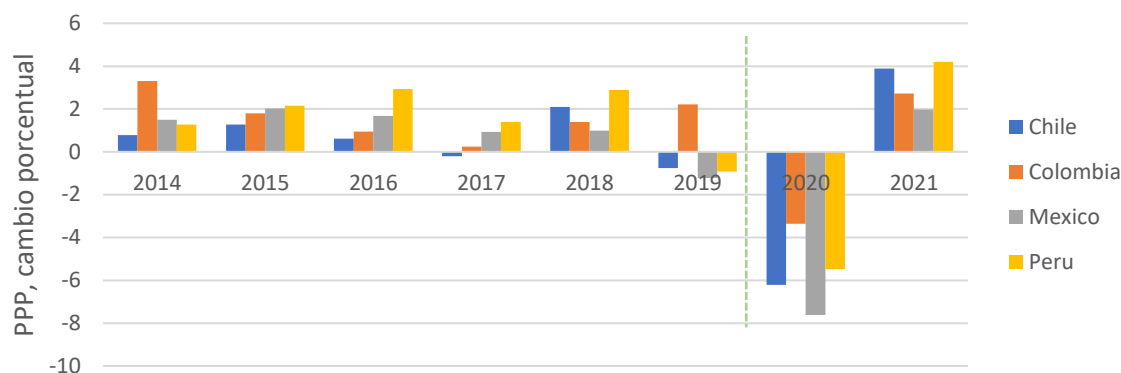
Por último, el VSL se proyectará en el tiempo de acuerdo con el crecimiento esperado del PIB per cápita de cada uno de los países analizados. Se utilizarán las proyecciones del *World Economic Outlook* del Fondo Monetario Internacional, presentadas en la Figura 6-5 y la formula indicada en la expresión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

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

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



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 |
|------|-------|--------|
|------|-------|--------|

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

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

Fuente: Elaboración propia

### 6.4 Metodología para maquinaria móvil no de carretera (HEMAQ)

La presente sección presenta la metodología para el cálculo de las emisiones, la caracterización de la flota de línea base, la distribución geográfica de la flota, proyección en el tiempo de la maquinaria y los datos de costos incrementales utilizados. Las sustancias para las que se cuantifican las emisiones, además de las emisiones de PM y PM<sub>2.5</sub> se presentan en la Tabla 6-13.

Tabla 6-13: Sustancias en el marco de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) y sustancias incluidas en HEMAQ

| Tipo sustancia                             | Sustancia        | UNFCCC | HEMAQ |
|--------------------------------------------|------------------|--------|-------|
| Gases de efecto invernadero                | CO <sub>2</sub>  | ✓      | ✓     |
|                                            | CH <sub>4</sub>  | ✓      | ✓     |
|                                            | N <sub>2</sub> O | ✓      | ✓     |
|                                            | HFCs             | ✓      | ✗     |
|                                            | PFCs             | ✓      | ✗     |
|                                            | SF <sub>6</sub>  | ✓      | ✗     |
|                                            | NF <sub>3</sub>  | ✓      | ✗     |
| Forzadores climáticos de vida corta (SLCF) | BC               | ✗      | ✓     |
|                                            | CH <sub>4</sub>  | ✓      | ✓     |
|                                            | HFCs             | ✓      | ✗     |
|                                            | SO <sub>2</sub>  | ✗      | ✓     |
|                                            | NO <sub>x</sub>  | ✗      | ✓     |
| Precusores de SLCF                         | CO               | ✗      | ✓     |
|                                            | NMVOC            | ✗      | ✓     |
|                                            | SO <sub>2</sub>  | ✗      | ✓     |
|                                            | NO <sub>x</sub>  | ✗      | ✓     |
|                                            | NH <sub>3</sub>  | ✗      | ✗     |
|                                            | OC               | ✗      | ✗     |

Fuente: Elaboración propia

El primer paso para del análisis fue homologar las categorías de flota y potencia utilizadas en cada país. El parque de México, Colombia y Perú incluye categorías de maquinaria adicionales a las incluidas en la Guía CALAC+ (CALAC+ 2020), por lo que se completaron los datos correspondientes a factores de carga y nivel de actividad en base a Anexo A de (EPA 2010). En total se agregan 26 categorías de maquinaria, adicionales a las incluidas en la Guía.

Factores de ajuste transitorios de categorías de maquinaria no incluidas en la guía CALAC+ se obtuvieron también de (US EPA 2018).

## 6.4.1 Metodología de cálculo emisiones

El cálculo de emisiones se basa en la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020), de acuerdo a la expresión ( 6-20).

$$E_i = \sum_{sub} N_{sub} * NA_{sub} * Pot_{sub} * (FE_{sub,i} * FAT_{sub,i} * FD_{sub,i} - SMP_{sub,i}) \quad (6-20)$$

Donde:

*sub*: maquinaria con idénticos atributos técnicos

*i*: contaminante

*p*: potencia

*m*: motor

*t*: tipo maquinaria

*s*: estándar de emisión

*e*: edad

*N*: Unidades de equipos

*NA*: Nivel de actividad

*FD*: Factor de deterioro

*SMP*: Ajuste por contenido de azufre

*FAT*: Factor de Ajuste Transitorio, según tipología, contaminante y estándar de emisión

*NA* y *FC* según tipo de maquinaria

Se complementan los factores de emisión para potencias menores a 8 kW, entre 8 y 19 kW, y para potencias mayores a 560. Dichos factores fueron obtenidos de la Tabla A4, (US EPA 2018).

La Tabla 6-14 y Tabla 6-15 presentan el resumen de las tecnologías de emisión disponibles para cada rango de potencia, de acuerdo con las metodologías de la EPA y de la EEA respectivamente.

Tabla 6-14: Factores de emisión disponibles de acuerdo con estándares de Estados Unidos

| Estándar Emisión EPA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 to 450 | >450 a 560 | >560 |
|----------------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------|------------|------|
| Tier 0               | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |
| Tier 1               | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |
| Tier 2               | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |
| Tier 3               | ✗      | ✗       | ✗        | ✗        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Tier 4I              | ✗      | ✗       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |
| Tier 4F              | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |
| Tier 4FD             | ✗      | ✗       | ✗        | ✗        | ✗        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |

Fuente: Elaboración propia en base a (US EPA 2018)

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

Tabla 6-15: Factores de emisión disponibles de acuerdo con estándares de europeos

| Estándar Emisión EEA | >0 A 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 to 450 | >450 a 560 | >560 |
|----------------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------|------------|------|
| Pre-Stage I          | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage I              | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage II             | ✗      | ✗       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage IIIA           | ✗      | ✗       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage IIIB           | ✗      | ✗       | ✗        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage IV             | ✗      | ✗       | ✗        | ✗        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✗    |
| Stage V              | ✓      | ✓       | ✓        | ✓        | ✓        | ✓         | ✓          | ✓           | ✓          | ✓    |

Fuente: Elaboración propia en base a (EEA 2019), Table 3-6

Cabe mencionar que la fracción de emisiones de PM<sub>2.5</sub> a PM o PM<sub>10</sub> (iguales en este caso), de acuerdo con (US EPA 2018) corresponde a 0.97. Este supuesto difiere del supuesto en (EEA 2019), donde se asume que PM<sub>2.5</sub> es igual al PM<sub>10</sub> y a PM.

El detalle de las fórmulas para el cálculo de emisiones puede ser consultado en (CALAC+ 2020). En el presente informe, sólo se explicita la fórmula utilizada para el cálculo de emisiones (expresión ( 6-20)), para el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en la expresión ( 6-21) y para SO<sub>2</sub>, en la expresión ( 6-22). Los FE para CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son ajustados de acuerdo con el FAT de consumo de combustibles y de acuerdo a FAT y a factor de deterioro de hidrocarburos  $FD_{HC}$ .

$$FE_{CO_2} = (BSFC * FAT_{BSFC} - FE_{HC} * FAT_{HC} * FD_{HC} * FactCar) * 0.87 * 44/12 \quad (6-21)$$

$$FE_{SO_2} = (BSFC * FAT_{BSFC} * (1 - soxcnv) - FE_{HC} * FAT_{HC} * FD_{HC} * FactCar) * 0.01 * soxdsl * 2 \quad (6-22)$$

Donde *FactCar* corresponde a un factor de ajuste para emisiones del cárter, correspondientes a aquellas emisiones que se escapan de la cámara de combustión más allá de los anillos de pistón. *FactCar* es 1.02 para estándares Tier 3 e inferiores y 1 para los demás estándares

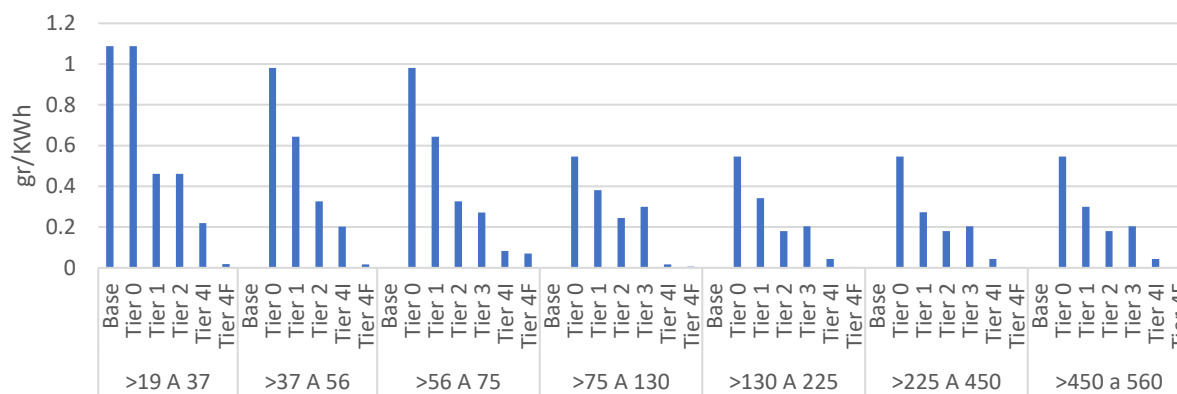
La Figura 6-6 presenta una comparación de los factores de emisión de los estándares de emisión de Estados unidos, para PM, NOx y consumo de combustible.

Figura 6-6: Factores de emisión en base a EPA por potencia y estándar tecnológico, gr/kWh

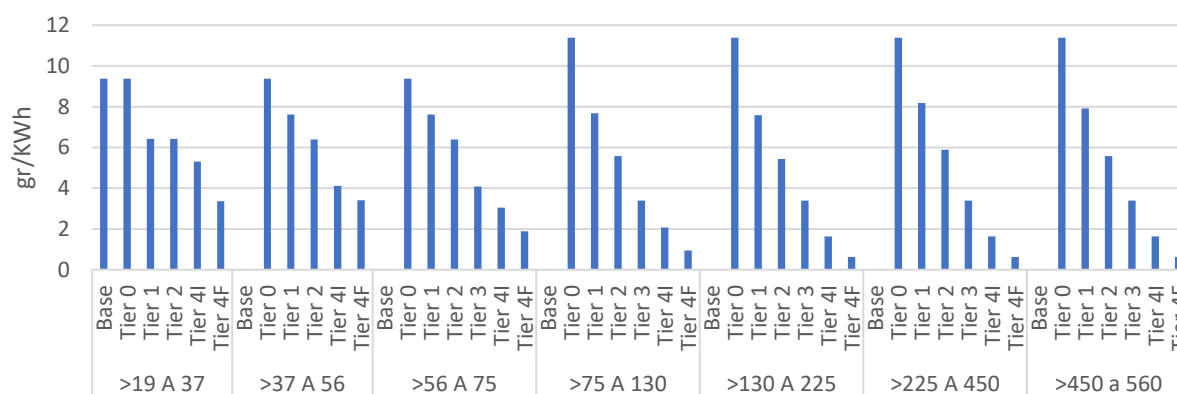
### a) Factores de emisión para PM, potencias seleccionadas



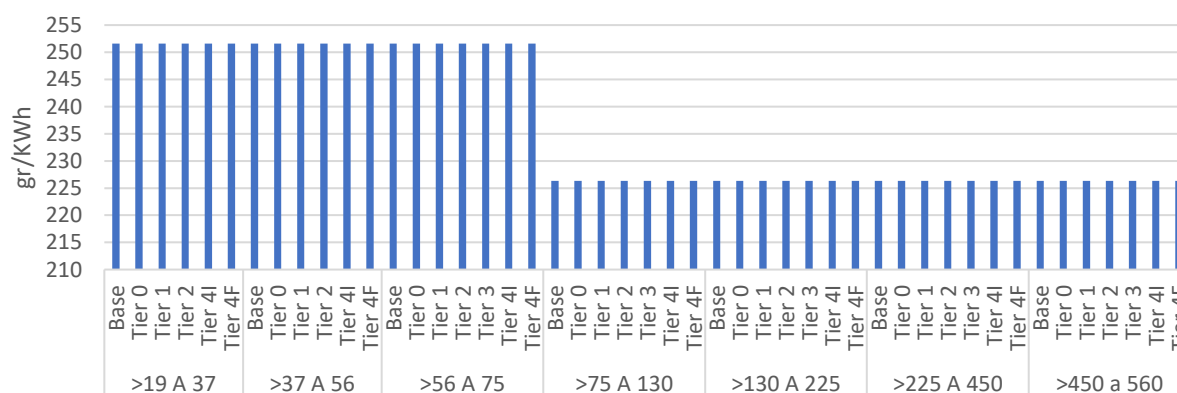
## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



### b) Factores de emisión para NOx, potencias seleccionadas



### c) Factores de consumo de combustible, potencias seleccionadas



Fuente: Elaborado en base US EPA (2018)

Tabla 6-16: Equivalencias estándares de emisión normativa en Estados Unidos y normativa europea

| EPA            | EEA         |
|----------------|-------------|
| Tier 0         | Pre-Stage I |
| Tier 1         | Stage I     |
| Tier 2         | Stage II    |
| Tier 3         | Stage IIIA  |
| Tier 4 Interim | Stage IIIB  |

|              |          |
|--------------|----------|
| Tier 4 Final | Stage IV |
|              | Stage V  |

#### 6.4.2 Caracterización de la flota de línea base.

En el caso de México, se consideran los datos del estudio (SEMARNAT 2018), contenida en los anexos digitales y la información provista por la contraparte, correspondientes a datos de aduanas para 2017 y 2018. El parque se encuentra desagregado para las zonas de interés: Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca.

Para la maquinaria importada en 2017 y 2018, para aquella maquinaria que indica una edad de más de 10 años, se consideró que la edad promedio corresponde a los valores indicados en la Tabla 6-17.

*Tabla 6-17: Supuesto de edad promedio flota de antigüedad mayor a 10 años para México, en base a información para Chile*

| Rubro               | Potencia (KW) | Edad promedio maquinaria de edad mayor o igual a 10 |
|---------------------|---------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Agricultura</b>  | >0 a 8        | 18                                                  |
|                     | >8 A 19       | 18                                                  |
|                     | >19 A 37      | 18                                                  |
|                     | >37 A 56      | 17                                                  |
|                     | >56 A 75      | 24                                                  |
|                     | >75 A 130     | 17                                                  |
|                     | >130 A 225    | 19                                                  |
|                     | >225 to 450   | 14                                                  |
| <b>Construcción</b> | >8 A 19       | 16                                                  |
|                     | >19 A 37      | 16                                                  |
|                     | >37 A 56      | 16                                                  |
|                     | >56 A 75      | 14                                                  |
|                     | >75 A 130     | 18                                                  |
|                     | >130 A 225    | 29                                                  |
|                     | >225 to 450   | 29                                                  |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de aduana 2016 a 2018, Chile

#### 6.4.3 Distribución geográfica de la flota

La información de la maquinaria importada proveniente de información de aduanas se encuentra agregada a nivel nacional. Se necesita entonces adoptar criterios para la desagregación geográfica y para estimar la flota correspondiente a la zona de interés. La Tabla 6-18 presenta el resumen de los criterios utilizados para la distribución geográfica de la flota.

*Tabla 6-18: Criterios utilizados para la distribución geográfica de la flota*

| País | Rubro maquinaria | Criterio |
|------|------------------|----------|
|------|------------------|----------|

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

|          |                                                                 |                                                                   |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Chile    | Construcción                                                    | m2 construidos                                                    |
|          | Agrícola y Forestal                                             | superficie sembrada agrícola y superficie forestada y reforestada |
|          | Industrial                                                      | Trabajadores del sector manufacturero                             |
|          | Minera                                                          | Producción regional de cobre                                      |
| México   | Maquinaria fue entregada desagregada por la contraparte técnica |                                                                   |
| Colombia | Construcción                                                    | PIB construcción                                                  |
|          | Agrícola                                                        | Superficie cosechada                                              |
|          | Industrial                                                      | PIB manufacturero                                                 |
| Perú     | Construcción                                                    | PIB construcción                                                  |
|          | Agrícola                                                        | PIB agrícola y ganadero                                           |
|          | Industrial                                                      | Población ocupada en industria manufacturera                      |
|          | Forestal                                                        | Área con permisos forestales otorgados                            |
|          | Minera                                                          | Aporte económico de la actividad minera                           |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas a continuación presentan los resultados de la distribución geográfica realizada. La Tabla 6-19 presenta los valores de las series originales y los porcentajes calculados para la distribución geográfica de la flota en Chile. La Tabla 6-20 presenta la distribución de la maquinaria dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México, de acuerdo a los datos del parque 2016 presentada en los anexos del estudio (SEMARNAT 2018). La Tabla 6-21 presenta la distribución de la flota según departamento en Colombia y la Tabla 6-22 presenta la distribución realizada para Perú.

Tabla 6-19: Distribución regional de maquinaria en Chile

| Región                                         | Edificación total (m2) (1) | % Maq. construcción | Producción cobre tmf (2) | %Maq minera | % Maq. forestal | %MAq agrícola | %Maq Agrícola-forestal | Ocupados industria manufacturera (miles) | % Maq industrial |
|------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------|-----------------|---------------|------------------------|------------------------------------------|------------------|
| Región de Tarapacá                             | 380,278                    | 2%                  | 538,275                  | 9.73%       | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 12                                       | 1%               |
| Región de Antofagasta                          | 545,461                    | 3%                  | 2,903,154                | 52.49%      | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 24                                       | 3%               |
| Región de Atacama                              | 235,199                    | 1%                  | 412,607                  | 7.46%       | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 12                                       | 1%               |
| Región de Coquimbo                             | 773,681                    | 4%                  | 574,693                  | 10.39%      | 0.1%            | 0.30%         | 0.30%                  | 27                                       | 3%               |
| Región de Valparaíso                           | 2,154,126                  | 11%                 | 332,094                  | 6.00%       | 0.1%            | 0.51%         | 0.51%                  | 62                                       | 7%               |
| Región de O'Higgins                            | 877,725                    | 5%                  | 443,877                  | 8.03%       | 1.3%            | 6.74%         | 6.63%                  | 44                                       | 5%               |
| Región del Maule                               | 1,343,632                  | 7%                  | -                        | 0.00%       | 25.6%           | 15.02%        | 15.23%                 | 47                                       | 5%               |
| Región del Biobío                              | 1,900,898                  | 10%                 | -                        | 0.00%       | 34.0%           | 11.83%        | 12.27%                 | 92                                       | 10%              |
| Región de la Araucanía                         | 1,293,797                  | 7%                  | -                        | 0.00%       | 16.8%           | 36.70%        | 36.30%                 | 34                                       | 4%               |
| Región de Los Lagos                            | 829,832                    | 4%                  | -                        | 0.00%       | 2.6%            | 6.56%         | 6.49%                  | 53                                       | 6%               |
| Región de Aysén                                | 89,151                     | 0%                  | -                        | 0.00%       | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 4                                        | 0%               |
| Región de Magallanes y de La Antártica Chilena | 264,316                    | 1%                  | -                        | 0.00%       | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 8                                        | 1%               |
| Región Metropolitana                           | 7,636,891                  | 40%                 | 325,537                  | 5.89%       | 0.3%            | 3.68%         | 3.61%                  | 412                                      | 47%              |
| Región de Los Ríos                             | 547,407                    | 3%                  | -                        | 0.00%       | 5.8%            | 3.96%         | 4.00%                  | 19                                       | 2%               |
| Región de Arica y Parinacota                   | 268,036                    | 1%                  | 772                      | 0.01%       | 0.0%            | 0.10%         | 0.10%                  | 8                                        | 1%               |
| Región de Ñuble                                | 78,824                     | 0%                  | -                        | 0.00%       | 13.4%           | 14.09%        | 14.08%                 | 23                                       | 3%               |

Fuente: (INE 2020b), (CONAF 2019), (INE 2020a) (1) Cuadro 1.2, EDIFICACIÓN AUTORIZADA SECTOR PRIVADO Y PÚBLICO, SUPERFICIE EN METROS CUADRADOS, OBRAS NUEVAS Y AMPLIACIONES POR DESTINO, SEGÚN REGIÓN. 2018. (2) Promedio 2011-2013. Agrícola-forestal corresponde al promedio ponderado de la distribución de superficie forestal y agrícola, donde el peso del sector forestal es 2% y del agrícola es 98% (supuesto de GEASUR 2014). Ocupados industria manufacturera corresponde a promedio de datos trimestrales para el año 2019.

Tabla 6-20: Distribución geográfica de la flota en la Zona Metropolitana del Valle del México

| Área             | Agrícola | Construcción |
|------------------|----------|--------------|
| Ciudad de México | 2.9%     | 87.4%        |
| Estado de México | 96.6%    | 12.5%        |
| Tizayuca         | 0.5%     | 0.1%         |

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo 8, (SEMARNAT 2018)

Tabla 6-21: Distribución geográfica de la flota en Colombia

| Departamento                                            | Distribución PIB construcción 2018 | Distribución PIB industria manufacturera 2018 | Distribución Área cosechada |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Amazonas                                                | 0.1%                               | 0.0%                                          | 1.1%                        |
| Antioquia                                               | 16.6%                              | 19.2%                                         | 9.1%                        |
| Arauca                                                  | 0.3%                               | 0.1%                                          | 0.8%                        |
| Atlántico                                               | 4.6%                               | 5.8%                                          | 0.1%                        |
| <b>Bogotá D.C.</b>                                      | <b>17.5%</b>                       | <b>18.2%</b>                                  | <b>0.0%</b>                 |
| Bolívar                                                 | 5.4%                               | 5.1%                                          | 2.7%                        |
| Boyacá                                                  | 4.4%                               | 2.7%                                          | 3.4%                        |
| Caldas                                                  | 1.7%                               | 1.7%                                          | 3.8%                        |
| Caquetá                                                 | 0.7%                               | 0.1%                                          | 1.3%                        |
| Casanare                                                | 0.7%                               | 0.3%                                          | 2.8%                        |
| Cauca                                                   | 2.5%                               | 2.5%                                          | 6.2%                        |
| Cesar                                                   | 1.4%                               | 0.5%                                          | 2.9%                        |
| Chocó                                                   | 0.3%                               | 0.0%                                          | 3.3%                        |
| Córdoba                                                 | 1.9%                               | 1.5%                                          | 3.9%                        |
| Cundinamarca                                            | 6.7%                               | 10.9%                                         | 3.6%                        |
| Guainía                                                 | 0.1%                               | 0.0%                                          | 1.2%                        |
| Guaviare                                                | 0.1%                               | 0.0%                                          | 0.3%                        |
| Huila                                                   | 2.6%                               | 0.5%                                          | 5.1%                        |
| La Guajira                                              | 1.0%                               | 0.1%                                          | 1.1%                        |
| Magdalena                                               | 1.6%                               | 0.5%                                          | 2.4%                        |
| Meta                                                    | 2.6%                               | 0.7%                                          | 6.8%                        |
| Nariño                                                  | 2.1%                               | 0.3%                                          | 8.3%                        |
| Norte de Santander                                      | 2.6%                               | 0.8%                                          | 2.6%                        |
| Putumayo                                                | 0.4%                               | 0.0%                                          | 0.9%                        |
| Quindío                                                 | 1.2%                               | 0.3%                                          | 1.3%                        |
| Risaralda                                               | 1.9%                               | 1.8%                                          | 1.4%                        |
| San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Archipiélago) | 0.1%                               | 0.0%                                          | 0.0%                        |
| Santander                                               | 8.1%                               | 10.7%                                         | 5.5%                        |
| Sucre                                                   | 1.3%                               | 0.5%                                          | 1.2%                        |
| Tolima                                                  | 2.9%                               | 1.8%                                          | 8.1%                        |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Departamento    | Distribución PIB construcción 2018 | Distribución PIB industria manufacturera 2018 | Distribución Área cosechada |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Valle del Cauca | 6.5%                               | 13.4%                                         | 7.1%                        |
| Vaupés          | 0.0%                               | 0.0%                                          | 0.2%                        |
| Vichada         | 0.1%                               | 0.0%                                          | 1.5%                        |

Fuente: DANE <sup>7</sup>, Tercer censo nacional agropecuario, DANE<sup>8</sup>

Tabla 6-22: Distribución geográfica de la flota en Perú

| Departamento  | CONSTRUCCION | AGRICULTURA | FORESTAL | INDUSTRIA     | MINERIA     |
|---------------|--------------|-------------|----------|---------------|-------------|
| Amazonas      | 1.0%         | 4.7%        | 0.03%    | 0.68%         | 0.1%        |
| Ancash        | 2.8%         | 2.5%        | 0.05%    | 3.21%         | 15.8%       |
| Apurímac      | 1.9%         | 1.8%        | 0.29%    | 0.33%         | 0.8%        |
| Arequipa      | 7.3%         | 7.5%        | 0.08%    | 4.26%         | 15.8%       |
| Ayacucho      | 1.6%         | 1.8%        |          | 0.98%         | 1.6%        |
| Cajamarca     | 3.1%         | 4.9%        | 0.42%    | 3.80%         | 10.9%       |
| Cusco         | 5.2%         | 3.7%        | 0.20%    | 3.34%         | 6.8%        |
| Huancavelica  | 1.5%         | 1.4%        | 0.00%    | 0.49%         | 0.6%        |
| Huanuco       | 2.0%         | 3.7%        | 8.16%    | 1.09%         | 0.2%        |
| Ica           | 5.7%         | 8.1%        | 0.02%    | 2.35%         | 2.9%        |
| Junín         | 3.2%         | 6.4%        | 1.73%    | 2.70%         | 2.4%        |
| La Libertad   | 4.4%         | 10.5%       | 3.04%    | 7.11%         | 12.4%       |
| Lambayeque    | 3.2%         | 4.5%        |          | 4.40%         | 0.1%        |
| <b>Lima</b>   | <b>39.3%</b> | <b>8.2%</b> |          | <b>49.16%</b> | <b>3.4%</b> |
| Loreto        | 0.8%         | 2.7%        | 75.80%   | 1.85%         | 0.0%        |
| Madre de Dios | 0.6%         | 0.3%        |          | 0.33%         | 0.3%        |
| Moquegua      | 1.9%         | 0.5%        | 0.00%    | 0.39%         | 9.1%        |
| Pasco         | 1.2%         | 1.6%        | 0.13%    | 0.47%         | 1.7%        |
| Piura         | 4.8%         | 7.7%        | 0.06%    | 4.99%         | 1.6%        |
| Puno          | 3.0%         | 4.5%        | 0.02%    | 4.30%         | 4.8%        |
| San Martín    | 1.7%         | 9.1%        |          | 1.16%         | 0.1%        |
| Tacna         | 2.0%         | 1.0%        |          | 0.78%         | 8.6%        |
| Tumbes        | 0.7%         | 0.9%        | 0.05%    | 0.53%         | 0.0%        |
| Ucayali       | 1.2%         | 1.9%        | 9.92%    | 1.34%         | 0.0%        |

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2016<sup>9</sup>, INEI. Evolución de los Indicadores de Empleo e Ingresos por Departamento, 2007-2016<sup>10</sup>, Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Minería, "Perú 2016: Anuario Minero". Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2016<sup>11</sup>

<sup>7</sup> Datos disponibles en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>

<sup>8</sup> Informe de resultados disponible en <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>

<sup>9</sup> C.3 PERÚ: VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y GANADERA POR DEPARTAMENTO SEGÚN AÑO, 2012-2016 (millones de soles a precios 2007)

<sup>10</sup> Fuente a: Cuadro N° 2.1. PERÚ: POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA OCUPADA, SEGÚN ÁREA DE RESIDENCIA, REGIÓN NATURAL Y DEPARTAMENTO, 2007 - 2016 (P. 244). Fuente b: Cuadro N° 2.12. PERÚ: POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA OCUPADA, SEGÚN RAMAS DE ACTIVIDAD Y DEPARTAMENTO, 2008 - 2016 (P. 269).

<sup>11</sup> Cuadro n.º 4. Perú: Permisos y autorizaciones forestales maderables otorgados durante el año 2016

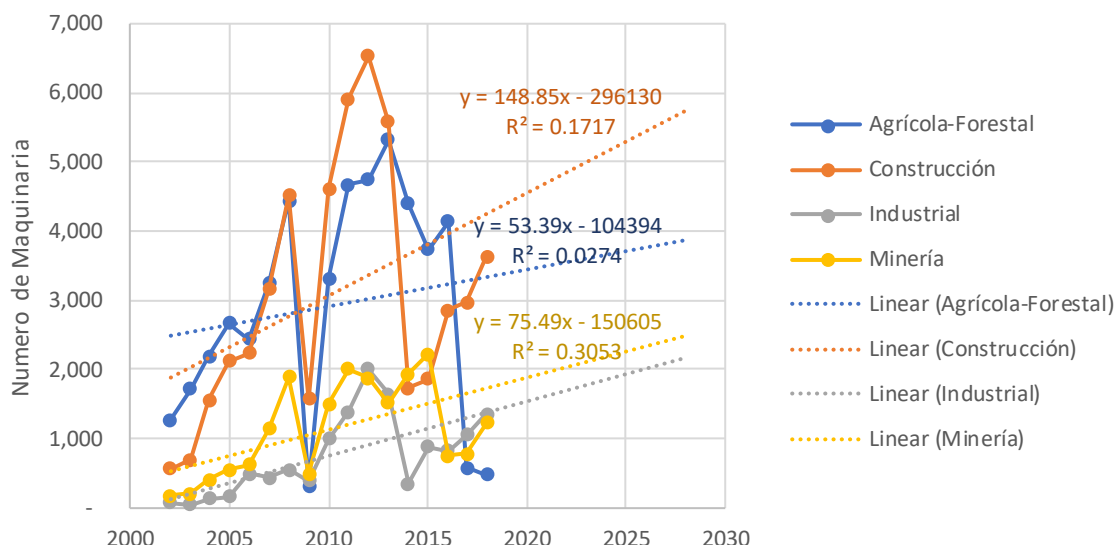
#### 6.4.4 Proyección de la flota

La cantidad maquinaria en el tiempo dependerá del ingreso de maquinaria al país y de la tasa de retiro de la misma. En esta sección se explican los supuestos utilizados para proyectar el ingreso de maquinaria en cada uno de los países y las opciones de tasas de retiro disponibles en HEMAQ (sección 6.4.4.5).

##### 6.4.4.1 Crecimiento de la maquinaria en Chile

El ingreso de maquinaria se proyecta en el tiempo de acuerdo con información histórica de importaciones de maquinaria en el país, utilizando información histórica de aduanas. La Figura 6-7 presenta la maquinaria importada entre 2002 y 2018, así como las regresiones lineales ajustadas para cada rubro, las que se utilizarán para proyectar el ingreso de maquinaria hasta 2050. La proyección no consideró las importaciones registradas en 2000 y 2001 (218 y 211 maquinarias respectivamente) ya que estos valores son muy inferiores a los observados en los años siguientes (2,057 y 2,655 maquinarias en 2002 y 2003 respectivamente).

Figura 6-7: Maquinaria importada por año y rubro en Chile



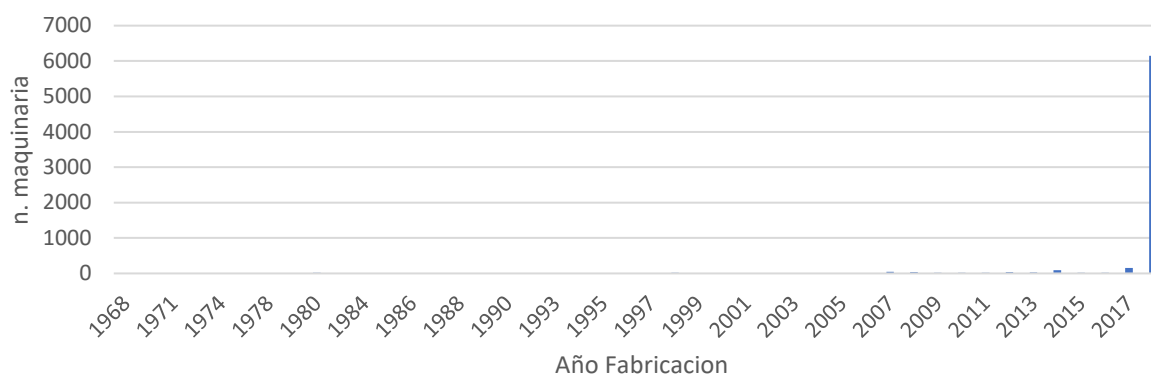
Fuente: Datos de aduanas entre 2002 y 2018.

La maquinaria importada puede corresponder a maquinaria usada, lo que afecta la edad de la maquinaria, su curva de retiro y sus emisiones. En el caso de Chile, el año 2018 ingresaron al país 6,678 unidades, de las cuales el 90% corresponde a maquinaria fabricada el mismo año (cero años de uso).

Figura 6-8: Cantidad de maquinaria importada en Chile en 2018, de acuerdo con año de fabricación.

Fuente: GORE-Direcciones Ejecutivas de Recursos Naturales, Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre. Elaboración: SERFOR-Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre-DGIOFFS-DIR. Incluye: Concesiones, Permisos a comunidades nativas, Permisos en predios privados, Permisos a comunidades campesinas, y Autorizaciones.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



En la proyección de maquinaria importada entre 2019 y 2050, por motivos de tamaño del archivo y velocidad de los cálculos, se agrupará el parque importado de edad mayor de 12 años en un solo grupo. Para dicha maquinaria, de edad 12+ años, se considerará la edad promedio del rubro y categoría correspondiente. La Tabla 6-23 presenta la fracción del parque importado de edad menor o igual a 11 años y la fracción de edad 12+ años durante los tres últimos años (2016 a 2018). La misma tabla presenta la edad asumida para maquinaria de edad mayor a 12 años, la que corresponde a la edad promedio ponderada observada en la flota para dicha maquinaria.

Tabla 6-23: Distribución edad flota importada entre años 2016-2018, Chile

| Rubro             | Potencia    | Hasta 11 | 12 + | Edad promedio 12+ |
|-------------------|-------------|----------|------|-------------------|
| Agrícola-Forestal | >19 A 37    | 98%      | 2%   | 22                |
|                   | >37 A 56    | 97%      | 3%   | 18                |
|                   | >56 A 75    | 89%      | 11%  | 25                |
|                   | >75 A 130   | 96%      | 4%   | 19                |
|                   | >130 A 225  | 85%      | 15%  | 20                |
|                   | >225 to 450 | 70%      | 30%  | 15                |
|                   | >450 a 560  | 100%     | 0%   |                   |
| Construcción      | >19 A 37    | 90%      | 10%  | 18                |
|                   | >37 A 56    | 92%      | 8%   | 18                |
|                   | >56 A 75    | 99%      | 1%   | 16                |
|                   | >75 A 130   | 96%      | 4%   | 19                |
|                   | >130 A 225  | 99%      | 1%   | 36                |
|                   | >225 to 450 | 96%      | 4%   | 33                |
|                   | >450 a 560  | 100%     | 0%   |                   |
| Industrial        | >19 A 37    | 96%      | 4%   | 17                |
|                   | >37 A 56    | 95%      | 5%   | 20                |
|                   | >56 A 75    | 97%      | 3%   | 19                |
|                   | >75 A 130   | 95%      | 5%   | 18                |
|                   | >130 A 225  | 98%      | 2%   | 20                |
|                   | >225 to 450 | 96%      | 4%   | 18                |
| Minería           | >19 A 37    | 99%      | 1%   | 13                |
|                   | >37 A 56    | 99%      | 1%   | 16                |



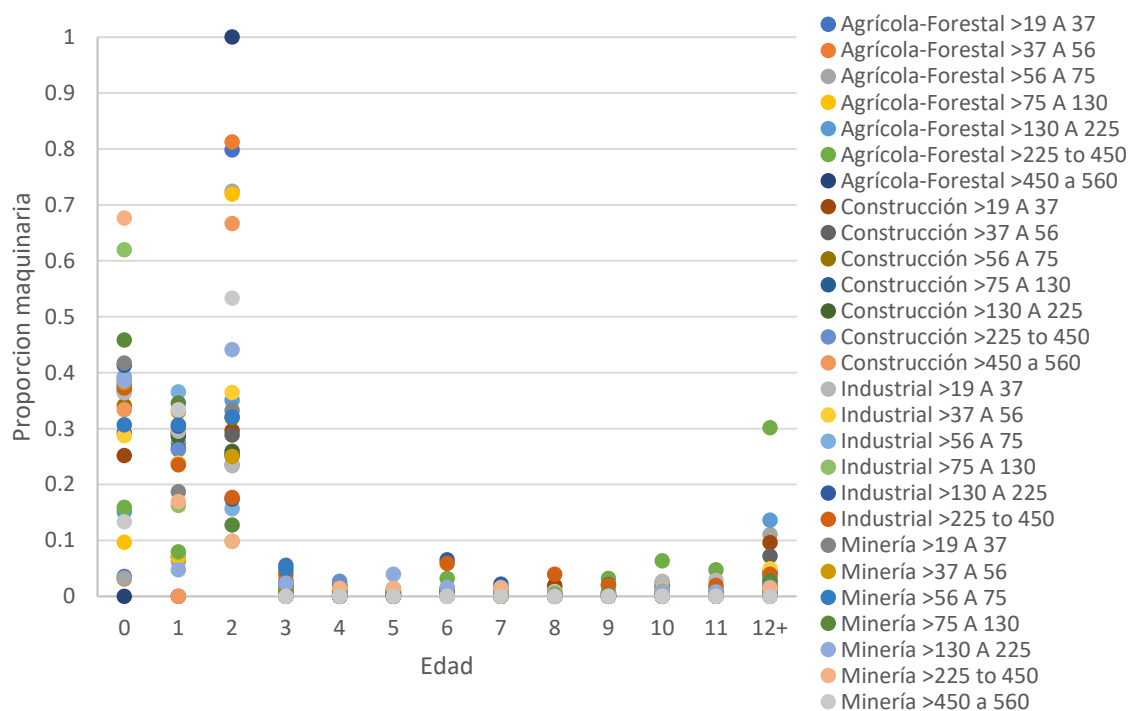
## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Rubro | Potencia    | Hasta 11 | 12 + | Edad promedio 12+ |
|-------|-------------|----------|------|-------------------|
|       | >56 A 75    | 100%     | 0%   | 12                |
|       | >75 A 130   | 97%      | 3%   | 18                |
|       | >130 A 225  | 98%      | 2%   | 22                |
|       | >225 to 450 | 99%      | 1%   | 16                |
|       | >450 a 560  | 100%     | 0%   |                   |

Fuente: Elaboración propia en base a información de aduanas entre 2016 y 2018, provista por la contraparte técnica.

La proporción de maquinaria según su edad al momento de importación se presenta de manera gráfica en la Figura 6-9.

Figura 6-9: Distribución de edad de la maquinaria importada, según rubro y potencia



Fuente: Elaboración propia en base a información de aduanas entre 2016 y 2018, provista por la contraparte técnica.

Las tipologías de maquinaria a incluir en la proyección corresponderán a las combinaciones de tipología y potencia observadas en las importaciones ocurridas entre 2016 y 2018. Las tipologías seleccionadas representan el 85% de las maquinarias importadas en cada rubro, con un total de 37 combinaciones de tipologías y potencias.

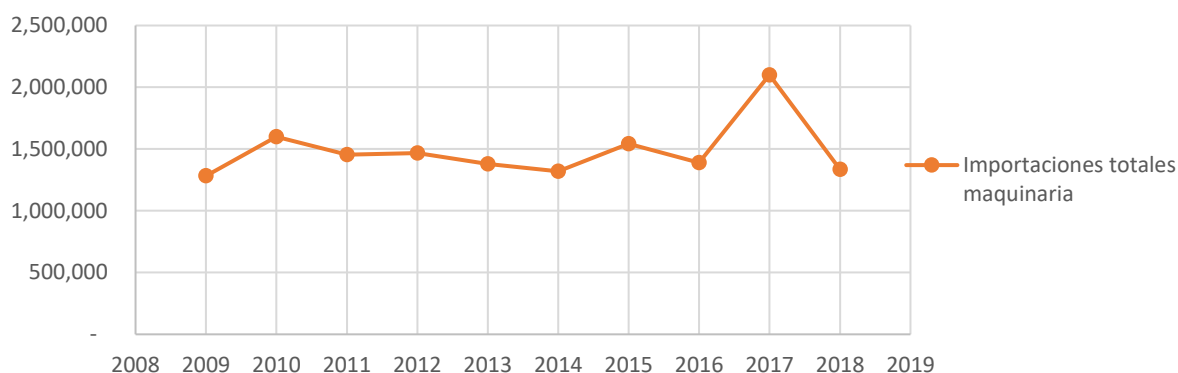
### 6.4.4.2 Crecimiento de la maquinaria en México

La Figura 6-10 presenta las importaciones totales de maquinaria en México entre 2009 y 2018. Para proyectar la maquinaria que entre a la ZMVM desde 2019 a 2050 se utilizó la tasa de crecimiento promedio de las importaciones en México entre 2009 y 2018 y se aplicó dicha tasa, de 0.446% anual, a las

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

importaciones del año 2016<sup>12</sup> en CDMX y Estado de México y Tizayuca. Se descartó utilizar los datos de importaciones de 2017 y 2018 debido a que la magnitud de la maquinaria importada es muy inferior a la información previamente reportada. La Tabla 6-24 presenta las importaciones de maquinaria en la ZMVM en 2016, 2017 y 2018.

Figura 6-10: Importaciones totales de maquinaria en México



Fuente: Datos 2009 a 2017 en base a planilla ECC120605CM5\_2009\_2017.xlsx, incluida en anexo digital número 6 de (SEMARNAT 2018). Datos 2018 según Planilla Información Base.

Tabla 6-24: Maquinaria importada en la ZMVM en 2016, 2017 y 2018

| Area             | Rubro        | 2016         | 2017       | 2018       |
|------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Ciudad de México | Agrícola     | 24           | 7          | 7          |
|                  | Construcción | 6,253        | 27         | 25         |
| Estado de Mexico | Agrícola     | 802          | 250        | 229        |
|                  | Construcción | 893          | 3          | 1          |
| Tizayuca         | Agrícola     | 4            | 1          |            |
|                  | Construcción | 9            |            |            |
| <b>Total</b>     |              | <b>7,985</b> | <b>288</b> | <b>262</b> |

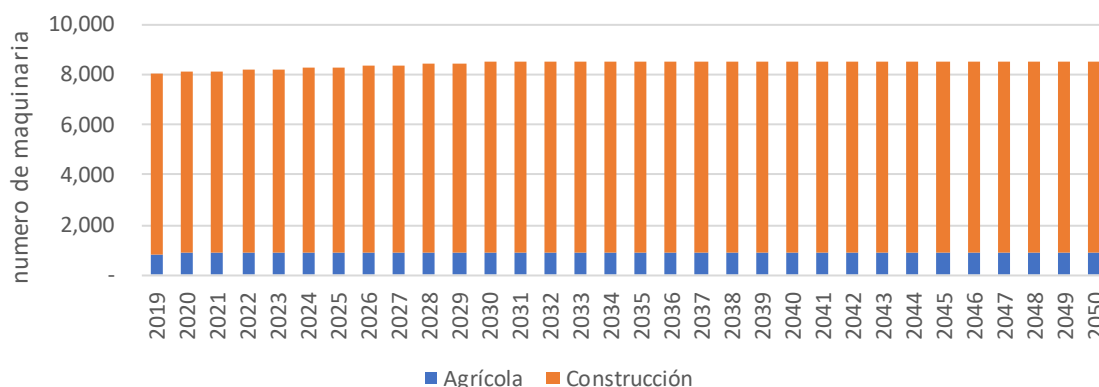
Fuente: Información provista por la contraparte en Planilla Información Base y a (SEMARNAT 2018).

La Figura 6-11 presenta la proyección del parque en entra a la ZMVM entre 2019 y 2050.

Figura 6-11: proyección del parque en entra a la ZMVM entre 2019 y 2050

<sup>12</sup> Se asumió que la maquinaria año modelo 2016 corresponde al total de la maquinaria importada en 2016. Esto correspondería a una cota inferior al total de la maquinaria importada dicho año, ya que también se importa maquinaria usada.

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



Fuente: Elaboración propia

La maquinaria total importada es distribuida según rubro, tipología y potencia utilizando la información detallada del parque del año 2016, de acuerdo a (SEMARNAT 2018). Para cada rubro, sector y rango de potencia, se seleccionan las maquinarias que representan el 70% del parque.

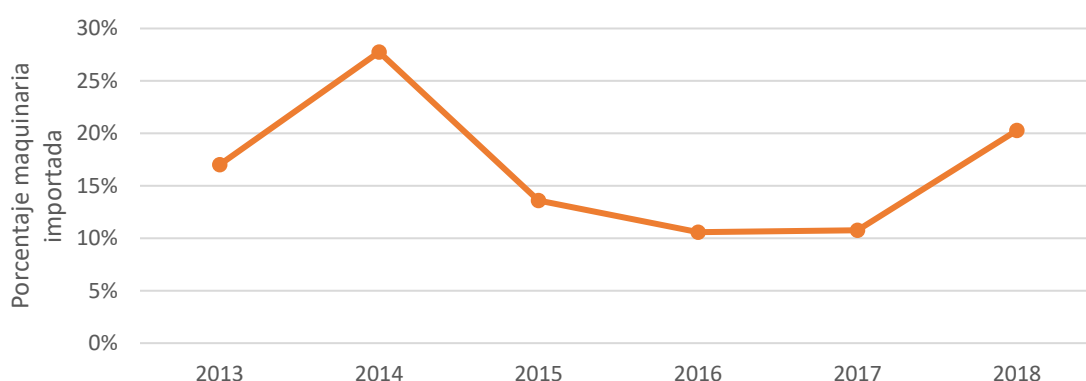
Dado que se importa maquinaria nueva y usada, se requiere aplicar un perfil de edad de la maquinaria al momento de la importación. Para esto, se aplica el perfil de edad según rubro y potencia observado en Chile, utilizando los datos indicados en la Tabla 6-23.

El parque detallado se encuentra en la pestaña “Calculo Em” de HEMAQ para México.

### 6.4.4.3 Crecimiento de la maquinaria en Colombia

Para la proyección de la maquinaria a importar en Colombia desde 2019 a 2050 se utiliza la información histórica de importaciones de maquinaria. La Figura 6-12 presenta la distribución porcentual en el tiempo de la maquinaria importada. Utilizando dicha información, para entre 2013 y 2018 se observa un crecimiento promedio anual de 3.54% de las importaciones.

Figura 6-12: Distribución de la maquinaria importada en Colombia

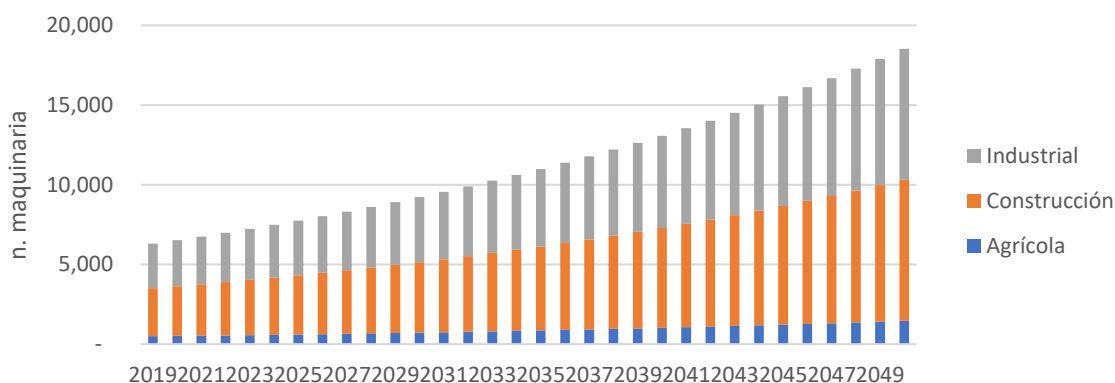


Fuente: Elaboración propia en base a información provista por la contraparte.

La tasa de crecimiento de las importaciones se aplica al parque de año modelo 2018, debido a que dichas maquinarias deben necesariamente haber sido importadas el 2018. Con este supuesto, se proyecta el ingreso de maquinaria según rubro hasta 2050 y los resultados se presentan en la Figura 6-13.

Figura 6-13: proyección del parque en entra a Colombia entre 2019 y 2050

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



La maquinaria total importada es distribuida según rubro, tipología y potencia utilizando la información detallada del parque del año 2018, provisto por la contraparte técnica. Para cada rubro, sector y rango de potencia, se seleccionan las maquinarias que representan el 85% del parque. Este criterio considera 42 combinaciones de rubro, tipología y potencia de maquinaria para el parque de Colombia.

Cabe mencionar que, en Colombia, de acuerdo con la Resolución 1068 del 2015, la maquinaria clasificada en el rubro de construcción también incluye la maquinaria que es utilizada en el sector de minería. Así mismo, la maquinaria clasificada en el rubro agrícola incluye aquella que se utiliza en el sector forestal.

Dado que se importa maquinaria nueva y usada, se requiere aplicar un perfil de edad de la maquinaria al momento de la importación. Para esto, al igual que en el caso de México, se aplica el perfil de edad según rubro y potencia observado en Chile, utilizando los datos indicados en la Tabla 6-23.

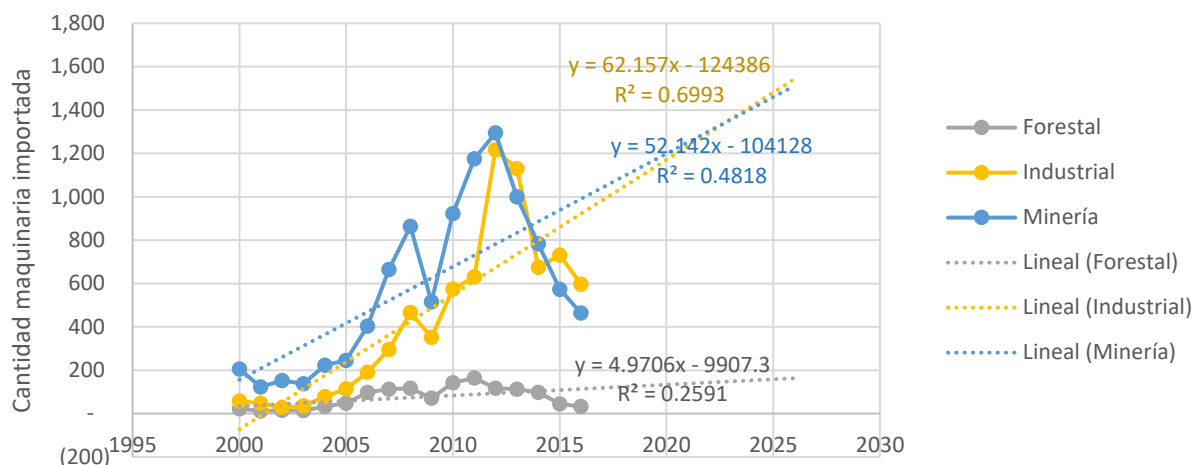
El parque detallado se encuentra en la pestaña “Calculo Em” de HEMAQ para Colombia.

### 6.4.4.4 Crecimiento de la maquinaria en Perú

El ingreso de maquinaria se proyecta en el tiempo de acuerdo con información histórica de importaciones de maquinaria en el país, utilizando información histórica desde el año 2000 a 2016 provista por la contraparte. La Figura 6-14 presenta la maquinaria importada entre 200 y 2016 para los sectores Forestal, Industrial y Minería. La Figura 6-15 presenta las importaciones de maquinaria agrícola y de construcción. Se presenta en ambas figuras las regresiones lineales para la importación de maquinaria para cada rubro, las que se utilizarán para proyectar el ingreso de maquinaria hasta 2050.

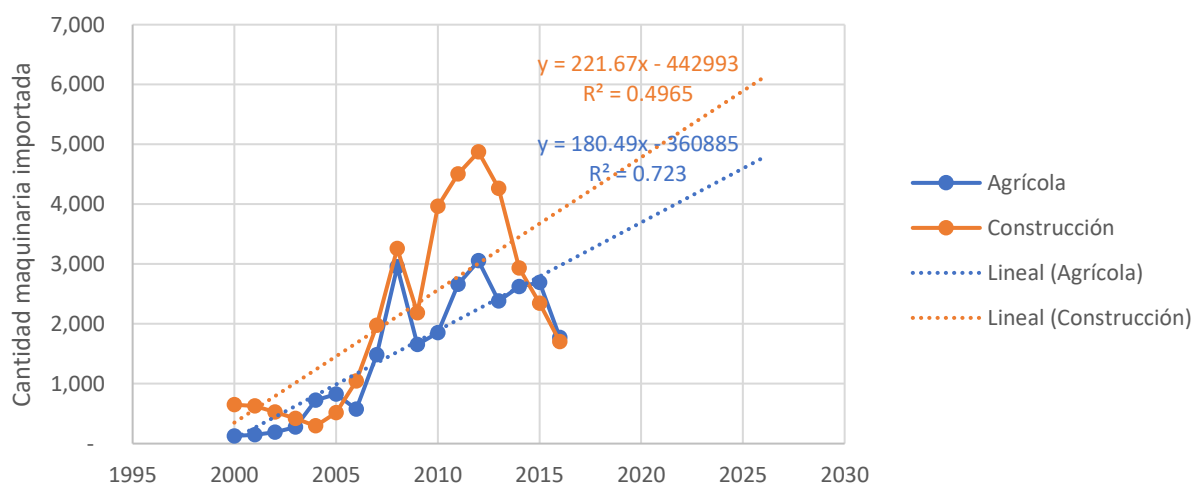
Figura 6-14: Maquinaria importada por año, rubros Forestal, Industrial y Minería, en Perú

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-15: Maquinaria importada por año, rubros Agrícola y Construcción, en Perú

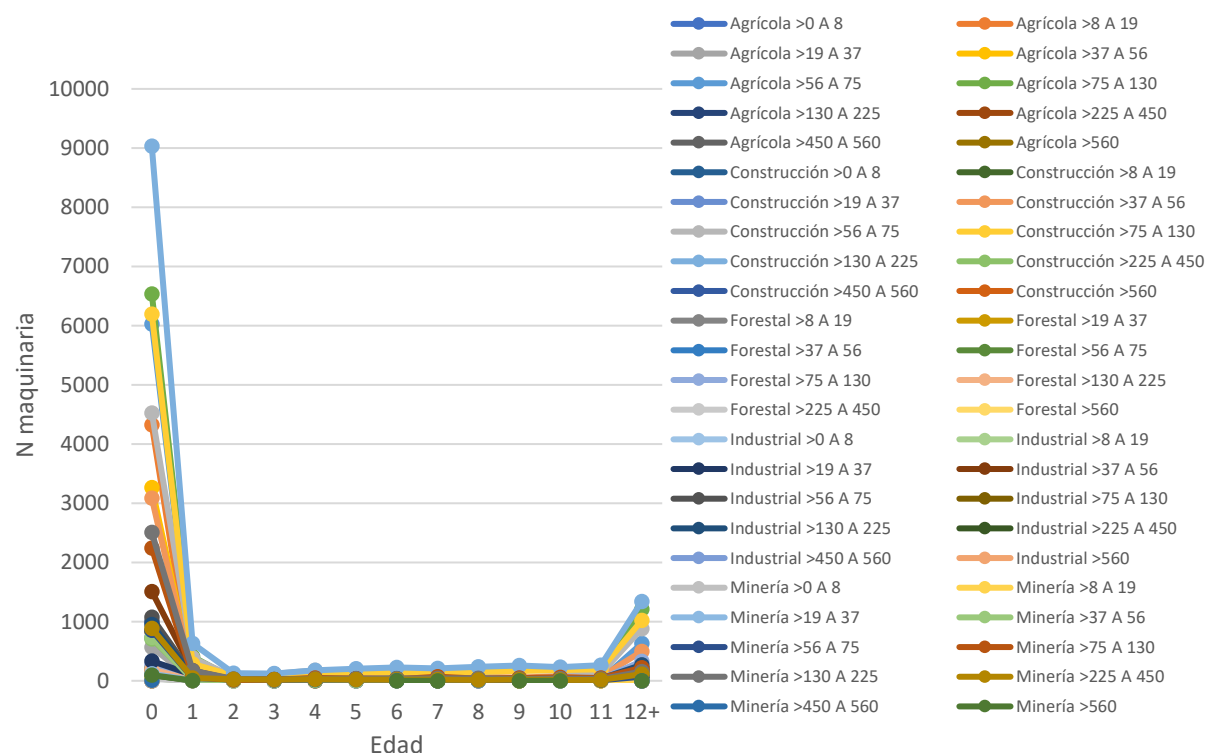


Fuente: Elaboración propia

La maquinaria importada puede corresponder a maquinaria usada, lo que afecta la edad de la maquinaria, su curva de retiro y sus emisiones. La Figura 6-16 presenta la cantidad importada de maquinarias de acuerdo a su edad al momento de la importación, considerando la maquinaria importada entre los años 2000 y 2016. La figura muestra la maquinaria de edad mayor a 12 años en un solo grupo, llamado 12+. Esta agrupación de maquinaria de antigüedad mayor a 12 años se utiliza en la proyección del parque, desde 2017 a 2050. Se aprecia en la figura que la gran mayoría (un 79%) de las maquinarias importadas son de antigüedad de 2 años o menos, y solo un 10% corresponde a maquinaria de antigüedad mayor a 12 años.

Figura 6-16: Edad de la maquinaria al momento de importación, en base a maquinaria importada entre 2000 y 2016

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria



Fuente: Elaboración propia en base a información provista por la contraparte técnica de Perú.

La Tabla 6-25 presenta, para cada rubro y rango de potencia, la fracción de la flota de edad hasta 12 años y de 12 años o más. La tabla indica también el promedio de edad de la flota mayor a 12 años.

Tabla 6-25: Distribución edad flota importada entre años 2000-2016, Perú

| Rubro        | Potencia   | Hasta 11 | 12+ | Edad promedio 12+ |
|--------------|------------|----------|-----|-------------------|
| Agrícola     | >0 A 8     | 74%      | 26% | 16                |
|              | >8 A 19    | 98%      | 2%  | 20                |
|              | >19 A 37   | 93%      | 7%  | 23                |
|              | >37 A 56   | 95%      | 5%  | 21                |
|              | >56 A 75   | 91%      | 9%  | 22                |
|              | >75 A 130  | 86%      | 14% | 21                |
|              | >130 A 225 | 91%      | 9%  | 19                |
|              | >225 A 450 | 49%      | 51% | 21                |
|              | >450 A 560 | 100%     | 0%  |                   |
|              | >560       | 100%     | 0%  |                   |
| Construcción | >0 A 8     | 93%      | 7%  | 17                |
|              | >8 A 19    | 92%      | 8%  | 19                |
|              | >19 A 37   | 87%      | 13% | 17                |
|              | >37 A 56   | 89%      | 11% | 17                |
|              | >56 A 75   | 88%      | 12% | 17                |
|              | >75 A 130  | 89%      | 11% | 17                |

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

| Rubro             | Potencia   | Hasta 11 | 12+ | Edad promedio 12+ |
|-------------------|------------|----------|-----|-------------------|
|                   | >130 A 225 | 90%      | 10% | 18                |
|                   | >225 A 450 | 93%      | 7%  | 30                |
|                   | >450 A 560 | 19%      | 81% | 16                |
|                   | >560       | 100%     | 0%  |                   |
| <b>Forestal</b>   | >8 A 19    | 100%     | 0%  |                   |
|                   | >19 A 37   | 80%      | 20% | 18                |
|                   | >37 A 56   | 83%      | 17% | 17                |
|                   | >56 A 75   | 89%      | 11% | 22                |
|                   | >75 A 130  | 60%      | 40% | 20                |
|                   | >130 A 225 | 84%      | 16% | 19                |
|                   | >225 A 450 | 90%      | 10% | 23                |
|                   | >560       | 100%     | 0%  |                   |
| <b>Industrial</b> | >0 A 8     | 100%     | 0%  |                   |
|                   | >8 A 19    | 96%      | 4%  | 25                |
|                   | >19 A 37   | 94%      | 6%  | 19                |
|                   | >37 A 56   | 90%      | 10% | 19                |
|                   | >56 A 75   | 92%      | 8%  | 18                |
|                   | >75 A 130  | 87%      | 13% | 18                |
|                   | >130 A 225 | 83%      | 17% | 22                |
|                   | >225 A 450 | 87%      | 13% | 25                |
|                   | >450 A 560 | 75%      | 25% | 24                |
|                   | >560       | 100%     | 0%  |                   |
| <b>Minería</b>    | >0 A 8     | 100%     | 0%  |                   |
|                   | >8 A 19    | 86%      | 14% | 22                |
|                   | >19 A 37   | 94%      | 6%  | 17                |
|                   | >37 A 56   | 87%      | 13% | 20                |
|                   | >56 A 75   | 94%      | 6%  | 17                |
|                   | >75 A 130  | 93%      | 7%  | 18                |
|                   | >130 A 225 | 95%      | 5%  | 19                |
|                   | >225 A 450 | 91%      | 9%  | 19                |
|                   | >450 A 560 | 100%     | 0%  |                   |
|                   | >560       | 100%     | 0%  |                   |

Fuente: Elaboración propia en base a información provista por la contraparte técnica

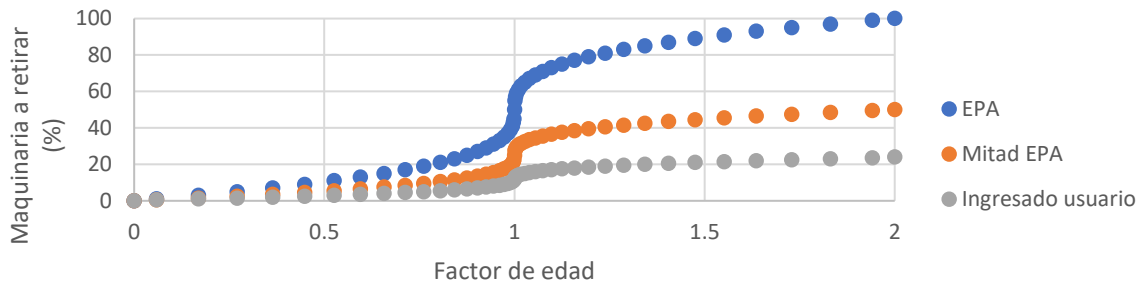
Las tipologías de maquinaria a incluir en la proyección corresponderán a las combinaciones de tipología y potencia observadas en las importaciones ocurridas entre 2000 y 2016. Las tipologías seleccionadas representan el 75% de las maquinarias importadas en cada rubro, con un total de 44 combinaciones de tipologías y potencias.

### 6.4.4.5 Retiro de maquinaria

La herramienta HEMAQ presenta 3 opciones para el retiro de maquinaria: i) De acuerdo con metodología EPA, ii) Un retiro equivalente a la mitad del retiro EPA y iii) Retiro ingresado por el usuario. Las opciones

dos y tres tienen la finalidad de permitir al usuario analizar la importancia para el cálculo de emisiones del retiro de maquinaria. Es posible que el retiro en los países analizados sea inferior al retiro observado en Estados Unidos.

Figura 6-17: Curva de retiro de maquinaria EPA, EPA dividido por 2 y opción ingresada usuario (a modo de ejemplo)



Fuente: Elaborado en base a (EPA 2005).

El gráfico presentado en la Figura 6-17 incluye solo 49 puntos (factor de edad, maquinaria a retirar). Debido a que el factor de edad calculado para cada unidad de la flota puede tener posiciones decimales adicionales a las incluidas en los 49 puntos, en Excel interpolamos linealmente entre el par de puntos más cercano, de acuerdo con la expresión ( 6-23).

$$Retiro_i = Retiro_{alto} - \frac{Retiro_{alto} - Retiro_{bajo}}{FEdad_{alto} - FEdad_{bajo}} * (FEdad_{alto} - FEdad_i) \quad (6-23)$$

Donde:

$FEdad_i$ : Factor de edad para unidad (o "sub") de maquinaria i

$Retiro_i$ : Retiro para unidad (o "sub" ) de maquinaria i

$FEdad_{alto}$ : Factor de edad mayor a  $FEdad_i$  más cercano

$FEdad_{bajo}$ : Factor de edad menor a  $FEdad_i$  más cercano

$Retiro_{alto}$ : Retiro correspondiente a  $FEdad_{alto}$

$Retiro_{bajo}$ : Retiro correspondiente a  $FEdad_{bajo}$

#### 6.4.5 Metodología para costos incrementales

Los costos incrementales fueron obtenidos de (Geasur 2014) y de (ICCT 2018). El estudio de Geasur presenta los costos incrementales requeridos por el motor y otros costos de equipo, así como también costos operacionales, en valor presente. El estudio cubre los costos incrementales, con respecto a la



tecnología inmediatamente anterior, para las tecnologías Tier1/Stage1, Tier 2/Stage 2, Tier 3/Stage 3, y Tier 4I/Stage 3B.

El estudio de ICCT presenta también los costos incrementales de inversión necesarios para el cumplimiento normativo, incluyendo las tecnologías Tier 4F/Stage IV y Stage V, en dólares del año 2017.

Los costos presentados en GEASUR fueron obtenidos fueron convertidos desde el año del valor original  $t_0$  (2014) a dólares del año 2017, como se muestra en la expresión ( 6-24), de acuerdo a lo indicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA 2010).

$$Costo (\$ 2017) = \frac{Costo_{t_0} * PIB \text{ Encadenado } USA_{2017}}{PIB \text{ Encadenado } USA_{t_0}} \quad (6-24)$$

Para la conversión del año de los costos, se utiliza el PIB encadenado de los Estados Unidos, presentado en la Tabla 6-26.

Tabla 6-26: PIB encadenado de Estados Unidos en billones de dólares encadenados 2012

| PIB (billones de<br>dolares 2012) | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                   | 17,143.04 | 17,514.06 | 17,876.18 | 18,359.43 | 18,813.92 | 19,253.96 |

Fuente: Saint Louis Federal Reserve<sup>13</sup>

Debido a que los costos presentados en (Geasur 2014) y de (ICCT 2018) corresponden al costo incremental desde el paso tecnológico inmediatamente anterior, estos deben sumarse en el caso de que la normativa requiera avanzar más de un estándar a la vez. La Tabla 6-27 presenta los costos incrementales, en dólares del año 2017.

<sup>13</sup> Datos disponibles en <https://fred.stlouisfed.org/release/tables?rid=53&eid=13026&od=2014-12-01#>

Tabla 6-27: Costos unitarios de mejora tecnológica [USD 2017].

| Estandar inicial | Estandar final | Tipo de Costo    | >0 a 8 | >8 A 19 | >19 A 37 | >37 A 56 | >56 A 75 | >75 A 130 | >130 A 225 | >225 A 450 | >450 a 560 | >560    | Fuente      |
|------------------|----------------|------------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|---------|-------------|
| <b>Tier 0</b>    | Tier 1         | Costos inversion | 39     | 39      | 39       | -        | -        | -         | -          | -          | -          | -       | GEASUR 2014 |
| <b>Tier 0</b>    | Tier 1         | Costos O&M       | 480    | 480     | 480      | -        | -        | -         | -          | -          | -          | -       |             |
| <b>Tier 1</b>    | Tier 2         | Costos inversion | 191    | 191     | 191      | 387      | 387      | 1,293     | 1,346      | 1,346      | 2,240      | 2,240   |             |
| <b>Tier 1</b>    | Tier 2         | Costos O&M       | 480    | 480     | 480      | 423      | 423      | (727)     | (1,298)    | (1,298)    | (8,803)    | (8,803) |             |
| <b>Tier 2</b>    | Tier 3         | Costos inversion | -      | -       | -        | 547      | 547      | 1,241     | 1,877      | 1,877      | 2,253      | 2,253   |             |
| <b>Tier 2</b>    | Tier 3         | Costos O&M       | -      | -       | -        | 865      | 865      | (3,165)   | (4,047)    | (4,047)    | (9,268)    | (9,268) |             |
| <b>Tier 3</b>    | Tier 4I        | Costos inversion | 489    | 489     | 544      | 3,384    | 3,384    | 4,080     | 4,561      | 6,100      | 11,292     | 11,292  |             |
| <b>Tier 3</b>    | Tier 4I        | Costos O&M       | -      | -       | -        | -        | -        | 1,531     | 2,118      | 2,012      | 8,061      | 8,061   |             |
| <b>Tier 4I</b>   | Tier 4F        | Costos inversion | -      |         | 14       | 377      | 719      | 861       | 1,232      | 1,680      | 3,202      | 3,202   | ICCT 2018   |
| <b>Tier 4I</b>   | Tier 4F        | Costos O&M       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |         |             |
| <b>Tier 4F</b>   | Stage V        | Costos inversion | 6      | 6       | 215      | 285      | 657      | 766       | 1,088      | 1,405      | 2,607      | 2,607   |             |
| <b>Tier 4F</b>   | Stage V        | Costos O&M       |        |         |          |          |          |           |            |            |            |         |             |

Fuente: Elaboración propia en base a (Geasur 2014) y de (ICCT 2018)

Los costos son anualizados de acuerdo a la vida útil de la inversión,  $VU$ , utilizando la tasa de descuento relevante  $r$  (seleccionada por el usuario, descrita en la sección 6.2.5.3), como se indica en la expresión ( 6-25).

$$CostoAnual = VP_{costo} * \frac{r * (1 + r)^{VU}}{(1 + r)^{VU} - 1} \quad (6-25)$$

La vida útil para cada rango de potencia es calculada de acuerdo con la expresión ( 6-26), utilizando la vida media indicada en Tabla 6-28, un factor de carga promedio de 0.48 y nivel de actividad promedio de 705 horas por año.

$$VU = \frac{Vida\ media\ (hrs)}{NA\ (hrs/año) * Factor\ carga} \quad (6-26)$$

Tabla 6-28: Vida media y vida útil calculada según rango de potencia de la maquinaria.

| Potencia (kW) | Vida Media (Hrs) | Vida util (años) |
|---------------|------------------|------------------|
| >0 - 8        | 2500             | 7.388            |
| >8 - 19       | 2500             | 7.388            |
| >19 - 37      | 2500             | 7.388            |
| >37 - 56      | 4667             | 13.791           |
| >56 - 75      | 4667             | 13.791           |
| >75 - 130     | 4667             | 13.791           |
| >130 - 225    | 4667             | 13.791           |
| >225 - 450    | 7000             | 20.686           |
| >450 - 560    | 7000             | 20.686           |
| > 560         | 7000             | 20.686           |

Fuente: Elaboración propia en base a (CALAC+ 2020)

## Costo-Beneficio de Escenarios Normativos para Maquinaria

### 6.4.6 Tecnologías maquinarias de acuerdo a estándares de emisión.

Tabla 6-29: Resumen de paquetes de tecnología de motores no de carretera por nivel de control de emisiones y categoría de potencia del motor

| Power class           | System component | Tier 1/Stage I                                                                    | Tier 2/Stage II                                                    | Tier 3/Stage IIIA                                                          | Tier 4i/Stage IIIB               | Tier 4f/Stage IV          | Stage Va                |
|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| < 19 kW <sup>b</sup>  | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                    |                                                                            |                                  |                           |                         |
|                       | AH               | NA                                                                                |                                                                    |                                                                            |                                  |                           |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  |                           |                         |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  |                           |                         |
| 19-37 kW <sup>c</sup> | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                    |                                                                            |                                  | IDI or CR                 | EDI: CR                 |
|                       | AH               | NA                                                                                |                                                                    |                                                                            |                                  | NA or TC                  |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | iEGR, cEGR                | cEGR                    |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | DOC+(DPF)                 | DOC+DPF                 |
| 37-56 kW              | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                    | IDI or MDI; fuel injection system upgrades with limited application of ECU |                                  | EDI, CR                   |                         |
|                       | AH               | NA, limited use of TC (FG)                                                        |                                                                    | TC (FG or WG), limited NA                                                  |                                  | TC (FG or WG)             |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    | Increased EGR application                                                  |                                  | iEGR, cEGR                | cEGR                    |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | DOC+(DPF)                 | DOC+DPF                 |
| 56-75 kW              | FIE              | MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems        |                                                                    | MDI; increasing use of EDI                                                 | EDI: CR                          |                           |                         |
|                       | AH               | Increasing application of TC (FG, WG)                                             |                                                                    | TC (FG, WG)                                                                |                                  |                           |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    | Moderate iEGR, cEGR application                                            |                                  |                           |                         |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | DOC+(DPF)                 | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR |
| 75-130 kW             | FIE              | MDI; injection timing delay, upgrade to mechanical fuel injection systems         | MDI, increasing use of EDI: electronic EUI or CR (Pinj = 1200 bar) | EDI: EUI or CR (Pinj = 1600 bar); limited MDI                              | EDI: CR (Pinj = 2000 bar)        |                           |                         |
|                       | AH               | TC (FG, WG)                                                                       |                                                                    |                                                                            | TC (WG, VGT)                     |                           |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    | cEGR used in ~50% of engine families                                       |                                  |                           |                         |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | DOC+(DPF) / SCR           | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR |
| 130-560 kW            | FIE              | MDI, limited EDI; injection timing delay,                                         | Increasing use of EDI: EUI or CR (Pinj = 1200 bar)                 | EDI: EUI or CR (Pinj = 1600 bar);                                          | EDI: CR or EUI (Pinj = 2000 bar) | EDI: CR (Pinj = 2000 bar) |                         |
|                       | AH               | TC (FG, WG)                                                                       |                                                                    | TC (FG, WG, VGT)                                                           | TC (WG, VGT, 2stT)               |                           |                         |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                    | cEGR in ~50% engine families                                               |                                  |                           |                         |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                    |                                                                            |                                  | DOC + DPF / SCR           | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR |

Fuente: (ICCT 2018). **Notas:** a) Paquetes de tecnología proyectada para diseños de motores de Etapa V. b) Las emisiones de motores diésel que no son de carretera con potencias <19 kW se regulan por primera vez en los estándares de la Etapa V. c) No se adoptaron normas de emisión de Etapa IIIB o IV para motores de 19-37 kW en Europa. Equipo de inyección de combustible (FIE): IDI = inyección indirecta; MDI = inyección mecánica directa; EDI = inyección directa electrónica; CR = riel común de alta presión; ECU = unidad de control electrónico; EUI = inyector unitario electrónico; Manejo del aire (AH): NA = aspiración natural; TC = turboalimentado; WG = desperdicio; VGT = geometría variable; 2stT = 2 etapas; FG = geometría fija; Recirculación de gases de escape (EGR): cEGR = EGR externo enfriado; iEGR = EGR interno; Dispositivos de postratamiento (ATD): DOC = catalizador de oxidación diésel; DPF = filtro de partículas diésel; SCR = reducción catalítica selectiva

#### 6.4.7 Valorización de CO<sub>2</sub>eq evitado

La valorización de CO<sub>2</sub> equivalente considera las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Las emisiones de CH<sub>4</sub> y de N<sub>2</sub>O se convierten en CO<sub>2</sub>eq utilizando un factor de conversión de 28 ton de CO<sub>2</sub>eq por cada tonelada de CH<sub>4</sub> y de 265 ton de CO<sub>2</sub>eq por cada tonelada de N<sub>2</sub>O.

Una vez obtenidas las reducciones de CO<sub>2</sub>eq, estas se valorizan multiplicando por un precio social para cada tonelada. Las opciones disponibles en HEMAQ se presentan en la Tabla 6-30.

Tabla 6-30: Precios sociales para el CO<sub>2</sub>

| Zona geográfica | Descripción                                                                                                                                                                        | Fuente                                                                                     |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perú            | \$7.17 dólares por tonelada                                                                                                                                                        | (Ministerio de Economía y Finanzas Perú 2018)                                              |
| Colombia        | A febrero de 2019, el impuesto al carbono tenía un valor de \$16,422 pesos colombianos (\$5.27 USD) por tonelada de CO <sub>2</sub> e.                                             | Plataforma Mexicana de Carbono, Nota técnica Impuesto al Carbono en Colombia <sup>14</sup> |
| México          | Valor alto: MXN59/tCO <sub>2</sub> e (US\$3/tCO <sub>2</sub> e).<br>Valor bajo: MXN7/tCO <sub>2</sub> e (US\$0.38/tCO <sub>2</sub> e)<br><br>Promedio: US\$1.69/tCO <sub>2</sub> e | Carbon Pricing Dashboard, Banco Mundial <sup>15</sup>                                      |
| Chile           | \$32.5 dólares por tonelada                                                                                                                                                        | (Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile 2020)                                  |
| Global          | Entre \$40 y \$80 dólares en 2020, aumentando a entre \$50 y \$100 en 2030 <sup>16</sup> .                                                                                         | (Carbon Pricing Leadership Coalition 2017)                                                 |

<sup>14</sup> Documento disponible en

<http://www.mexico2.com.mx/uploads/mexico/file/Impuesto%20al%20Carbono%20en%20Colombia.pdf>

<sup>15</sup> <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>

<sup>16</sup> El informe de la Comisión de alto nivel no prescribe ningún valor específico del precio del carbono más allá de 2030. Los valores altos y bajos de los precios del carbono se extrapolan desde 2030 a 2050 utilizando la misma tasa de crecimiento anual de 2,25% que está implícita entre 2020 y 2030. Esto lleva a valores de entre \$ 78 y \$ 156 dólares en 2050.

#### 6.4.8 Distribución costos y beneficios según agente

La distribución de costos y beneficios corresponde al paso final del análisis. Muchas veces esta etapa no se lleva a cabo, dada la dificultad que puede representar y considerando que no afecta los resultados de la evaluación en términos de costos, beneficios o razón beneficio-coste. A continuación, se explicitan los agentes identificados y los supuestos realizados para distribución de costos y beneficios.

**Privados:** Importadores de maquinaria podrían absorber parcialmente el costo adicional para dar cumplimiento al nuevo estándar de emisión.

**Emisores:** Corresponde a los usuarios o actividades que utilizan las maquinarias y finalmente generan la emisión de contaminantes. Estos usuarios asumirán los costos de inversión asociados al mayor costo de las mejoras tecnológicas, y los costos variables (o ahorros) debido a diferencias de mantención y operación de los equipos.

**Gobierno:** El gobierno se verá beneficiado mejoras en la salud de la población y con reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>. Las mejoras en la salud de la población podrían reducir el gasto público en salud, además de aumentar la productividad de la fuerza laboral. Las reducciones de CO<sub>2</sub> podrían contribuir parcialmente al compromiso adquirido por el país en el contexto del Acuerdo de París.

**Ciudadanía:** Todos los habitantes de las zonas en que se aplique la normativa se verán beneficiados con la reducción de la contaminación. La mortalidad y morbilidad evitada debido a un aire más limpio influirá directamente en su bienestar, calidad de vida y gastos médicos asociados a enfermedades empeoradas por la contaminación.

La Tabla 6-31 presenta la fracción de beneficios y costos asumida para cada agente.

Tabla 6-31: Distribución de costos y beneficios según agente identificado.

| Agente     | Beneficios salud | Beneficios CO2 evitado | Ahorros O&M | Costos inversión |
|------------|------------------|------------------------|-------------|------------------|
| Privados   |                  |                        |             | 0.1              |
| Emisores   |                  |                        | 1           | 0.9              |
| Gobierno   | 0.2              | 0.5                    |             |                  |
| Ciudadanía | 0.8              | 0.5                    |             |                  |
| Total      | 1                | 1                      | 1           | 1                |

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](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." Santiago.
- . 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](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](http://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](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](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](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/bcguidelines/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](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](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](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](http://www.who.int/airpollution/data/AAP_BoD_methods_Apr2018_final.pdf?ua=1).



Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Embajada de Suiza en el Perú**

**Cooperación Internacional - COSUDE  
Hub Regional Lima**

Ejecutado por:



[calac@swisscontact.org.pe](mailto:calac@swisscontact.org.pe)

[www.programacalac.com](http://www.programacalac.com)

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores

Lima 15073 – Perú

Teléfono: +511 5005075

[www.swisscontact.org](http://www.swisscontact.org)