

RAGEI 2019

REPORTE ANUAL DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR PROCESOS
INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS
2019



CATEGORÍAS:

**INDUSTRIA DE LOS MINERALES,
QUÍMICA, DE LOS METALES, Y SUSTITUTOS
FLUORADOS DE SUSTANCIAS QUE AGOTAN
LA CAPA DE OZONO**

**Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector
Procesos Industriales y Uso de Productos del año 2019.
Categoría: Industria de los minerales; Industria química; Industria de los metales;
y, sustitutos fluorados de sustancias que agotan la capa de ozono**

Preparado por:
Ministerio de la Producción
Viceministerio de MYPE e Industria
Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria

Lima, 2023

CONTENIDO

SIGLAS Y ACRÓNIMOS	13
RESUMEN EJECUTIVO.....	14
1. INTRODUCCIÓN	16
2. SITUACIÓN DEL SECTOR	17
3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI	18
3.1 Organización para la elaboración del RAGEI	18
3.2 Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI	19
3.3 Control de la calidad y garantía de la calidad del RAGEI	21
4. METODOLOGÍA APLICADA	21
4.1 Metodología para el cálculo de emisiones de GEI.....	21
4.2 Metodología del análisis de incertidumbre	23
4.3 Metodología para garantizar la coherencia de serie temporal	24
5. RESULTADO SECTORIAL.....	29
5.1 Análisis de resultados	29
5.2 Análisis de incertidumbre	35
5.3 Actualización de la serie temporal.....	38
5.4 Control de calidad y garantía de calidad	42
5.4.1. Control de la calidad.....	42
5.4.2. Garantía de la calidad.....	46
6. RESULTADOS POR CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS.....	52
6.1 Categoría 2A: Industria de los minerales.....	52
6.1.1 Subcategoría 2A1: Producción de cemento	52
6.1.1.1 Método de cálculo.....	52
6.1.1.2 Datos de actividad	54
6.1.1.3 Factores de emisión y conversión	55
6.1.1.4 Análisis de resultados.....	56
6.1.1.5 Análisis de incertidumbre.....	58
6.1.1.6 Actualización de la serie temporal	59
6.1.1.7 Control de calidad y Garantía de calidad	60
6.1.2 Subcategoría 2A2: Producción de cal.....	61
6.1.2.1 Método de cálculo.....	61
6.1.2.2 Datos de actividad	63
6.1.2.3 Factores de emisión y conversión	64
6.1.2.4 Análisis de resultados.....	64
6.1.2.5 Análisis de incertidumbre.....	66
6.1.2.6 Actualización de la serie temporal	67
6.1.2.7 Control de calidad y garantía de la calidad	67

6.1.3	Subcategoría 2A3: Producción de vidrio	68
6.1.3.1	Método de cálculo.....	68
6.1.3.2	Datos de actividad	70
6.1.3.3	Factores de emisión y conversión	71
6.1.3.4	Análisis de resultados.....	72
6.1.3.5	Análisis de incertidumbre.....	74
6.1.3.6	Actualización de la serie temporal	75
6.1.3.7	Control de calidad y garantía de la calidad	75
6.1.4	Subcategoría 2A4, fuente 2A4a: Cerámicas	76
6.1.4.1	Método de cálculo.....	76
6.1.4.2	Datos de actividad	78
6.1.4.3	Factores de emisión y conversión	80
6.1.4.4	Análisis de resultados.....	81
6.1.4.5	Análisis de incertidumbre.....	83
6.1.4.6	Actualización de la serie temporal	84
6.1.4.7	Control de calidad y garantía de la calidad	85
6.1.5	Subcategoría 2A4, fuente 2A4b: Otros usos de ceniza de sosa	85
6.1.5.1	Método de cálculo.....	86
6.1.5.2	Datos de actividad	88
6.1.5.3	Factores de emisión y conversión	89
6.1.5.4	Análisis de resultados.....	89
6.1.5.5	Análisis de incertidumbre.....	91
6.1.5.6	Actualización de la serie temporal	92
6.1.5.7	Control de calidad y garantía de la calidad	93
6.2	Categoría 2B: Industria química.....	93
6.2.1	Subcategoría 2B2: Producción de ácido nítrico	93
6.2.1.1	Método de cálculo.....	94
6.2.1.2	Datos de actividad	95
6.2.1.3	Factores de emisión y conversión	96
6.2.1.4	Análisis de resultados.....	96
6.2.1.5	Análisis de incertidumbre.....	97
6.2.1.6	Actualización de la serie temporal	98
6.2.1.7	Control de calidad y garantía de la calidad	99
6.2.2	Subcategoría 2B7: Producción de ceniza de sosa	100
6.2.2.1	Método de cálculo.....	101
6.2.2.2	Datos de actividad	102
6.2.2.3	Factores de emisión y de conversión	102
6.2.2.4	Análisis de resultados.....	103
6.2.2.5	Análisis de incertidumbre.....	104

6.2.2.6	Actualización de la serie temporal	105
6.2.2.7	Control de calidad y garantía de la calidad	106
6.3	Categoría 2C: Industria de los metales	106
6.3.1	Subcategoría 2C1: Producción de Hierro y Acero	106
6.3.1.1	Método de cálculo.....	106
	Nivel metodológico para las emisiones de CO ₂	106
	Nivel metodológico para las emisiones de CH ₄	109
6.3.1.2	Datos de actividad	111
	Nivel de actividad para las emisiones de CO ₂	111
	Nivel de actividad para las emisiones de CH ₄	113
6.3.1.3	Factores de emisión y conversión	114
	Factores para las emisiones de CO ₂	114
	Factores para las emisiones de CH ₄	114
6.3.1.4	Análisis de resultados.....	115
6.3.1.5	Análisis de incertidumbre.....	116
6.3.1.6	Actualización de la serie temporal	118
6.3.1.7	Control de calidad y garantía de la calidad	119
6.3.2	Subcategoría 2C5: Producción de Plomo	120
6.3.2.1	Método de cálculo.....	120
6.3.2.2	Datos de actividad	122
6.3.2.3	Factores de emisión y conversión	122
6.3.2.4	Análisis de resultados.....	123
6.3.2.5	Análisis de incertidumbre.....	124
6.3.2.6	Actualización de la serie temporal	124
6.3.2.7	Control de calidad y garantía de la calidad	125
6.3.3	Subcategoría 2C6: Producción de Zinc	126
6.3.3.1	Método de cálculo.....	126
6.3.3.2	Datos de actividad	128
6.3.3.3	Factores de emisión y conversión	128
6.3.3.4	Análisis de resultados.....	129
6.3.3.5	Análisis de incertidumbre.....	130
6.3.3.6	Actualización de la serie temporal	131
6.3.3.7	Control de calidad y garantía de la calidad	132
6.4	Categoría 2F: Sustitutos fluorados para las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono	133
6.4.1	Subcategoría 2F1: Refrigeración y aire acondicionado.....	133
6.4.1.1	Método de cálculo.....	133
6.4.1.2	Datos de actividad	133
6.4.1.3	Factores de emisión y conversión	134
6.4.1.4	Análisis de resultados.....	135

6.4.1.5	Análisis de incertidumbre.....	136
6.4.1.6	Actualización de la serie temporal	137
6.4.1.7	Control de calidad y garantía de la calidad	137
7.	SIGUIENTES PASOS.....	139
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	145
9.	ANEXOS	148
	Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI 2019	148
	Anexo 2: Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del RAGEI	149

Lista de tablas

Tabla 1. Rol de las entidades involucradas en la elaboración del RAGEI	19
Tabla 2. Categoría y fuentes de emisiones del sector PIUP evaluadas y las emisiones estimadas	22
Tabla 3. Mejoras en la estimación de la incertidumbre del RAGEI PIUP.....	24
Tabla 4. Resumen del uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal	26
Tabla 5. Cuadro resumen por subcategorías – Emisiones de GEI, 2019 – Sector Procesos Industriales y Uso de Productos	30
Tabla 6. Cuadro resumen por categorías – Emisiones de GEI, 2019 - Sector Procesos Industriales y Uso de Productos.....	33
Tabla 7. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del sector PIUP	36
Tabla 8. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del RAGEI PIUP por categorías.....	37
Tabla 9. Actualizaciones implementadas en el RAGEI PIUP 2019 (mejoras aplicadas)	38
Tabla 10. Serie temporal de emisiones originales y actualizadas: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019.....	41
Tabla 11. Procedimientos generales de control de calidad.....	42
Tabla 12. Procedimientos generales de control de calidad adicionales aplicados para el RAGEI 2019.....	45
Tabla 13. Recomendaciones de acción urgente recibidas en el proceso de Garantía de la Calidad y las acciones llevadas a cabo por PRODUCE en el RAGEI PIUP 2019.....	47
Tabla 14. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Cemento	53
Tabla 15. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Cemento	55
Tabla 16. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Cemento.....	56
Tabla 17. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Cemento	58
Tabla 18. Hipótesis y valor de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Cemento	58
Tabla 19. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Cemento	59
Tabla 20. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Producción de Cemento	59
Tabla 21. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Cemento	59
Tabla 22. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Cemento.....	60
Tabla 23. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Cal.....	62
Tabla 24. Descripción del nivel de actividad y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Cal.....	64
Tabla 25. Factores de emisión y conversión utilizados - Subcategoría Producción de Cal.....	64
Tabla 26. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Cal.....	66
Tabla 27. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Cal.....	66
Tabla 28. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Cal.....	67
Tabla 29. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Cal.....	68
Tabla 30. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Vidrio	69

Tabla 31. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Producción de Vidrio.....	70
Tabla 32. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Vidrio	72
Tabla 33. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Vidrio	74
Tabla 34. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Vidrio	74
Tabla 35. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Vidrio	74
Tabla 36. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Vidrio	75
Tabla 37. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	77
Tabla 38. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas	79
Tabla 39. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	81
Tabla 40. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	83
Tabla 41. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	83
Tabla 42. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	83
Tabla 43. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	84
Tabla 44. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	84
Tabla 45. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas.....	85
Tabla 46. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa	87
Tabla 47. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa	88
Tabla 48. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa	89
Tabla 49. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa	91
Tabla 50. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa	91
Tabla 51. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Otros usos de la Ceniza de Sosa.....	93
Tabla 52. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de N ₂ O - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico.....	95
Tabla 53. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico.....	95
Tabla 54. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico	96
Tabla 55. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico	97
Tabla 56. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico	97
	cido
 98

Tabla 58. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico	99
Tabla 59. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico	99
Tabla 60. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa.....	101
Tabla 61. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa.....	102
Tabla 62. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa	102
Tabla 63. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa	104
Tabla 64. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa	105
Tabla 65. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa	105
Tabla 66. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	107
Tabla 67. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CH ₄ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	110
Tabla 68. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación para CO ₂ del año 2016 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	112
Tabla 69. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación para CH ₄ del año 2016 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	113
Tabla 70. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados (para CO ₂) - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	114
Tabla 71. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados (para CH ₄) - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	115
Tabla 72. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	117
Tabla 73. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	117
Tabla 74. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	117
Tabla 75. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	118
Tabla 76. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	118
Tabla 77. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Hierro y Acero	119
Tabla 78. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Plomo	121
Tabla 79. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Plomo	122
Tabla 80. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Plomo.....	123
Tabla 81. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Plomo.....	125
Tabla 82. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Zinc	127
Tabla 83. Descripción del nivel de actividad utilizado v los datos nacionales utilizados en la	128
.....	129

<i>Tabla 85. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Zinc</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 86. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Zinc</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 87. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Zinc</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 88. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Zinc.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 89. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 90. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 91. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 92. Control de calidad de la estimación, comparación con software IPCC - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 93. Acciones de mejora planificadas para futuros RAGEI en base al control de calidad del equipo sectorial y a las recomendaciones de acciones urgentes de la garantía de la calidad .</i>	<i>140</i>

Lista de figuras

Figura 1. Evolución del PBI Manufacturero.....	18
Figura 2. Emisiones en Gg CO ₂ eq de las categorías del sector PIUP, 2019.....	32
Figura 3. Participación porcentual de las emisiones en Gg CO ₂ eq de las categorías del sector PIUP, 2019.....	32
Figura 4. Evolución de las emisiones del sector PIUP en Gg CO ₂ eq (años 2000, 2005, 2010, 2012 2014, 2016 y 2019).....	35
Figura 5. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Cemento.....	53
Figura 6. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cemento.....	57
Figura 7. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cemento.....	57
Figura 8. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Cal.....	62
Figura 9. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cal.....	65
Figura 10. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cal.....	65
Figura 11. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Vidrio.....	69
Figura 12. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Vidrio.....	73
Figura 13. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Vidrio.....	73
Figura 14. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas.....	77
Figura 15. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas.....	82
Figura 16. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas.....	82
Figura 17. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa.....	86
Figura 18. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa.....	90
Figura 19. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa.....	90
Figura 20. Árbol de decisión para estimar las emisiones de N ₂ O - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico.....	94
Figura 21. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico.....	96
Figura 22. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico.....	97
Figura 23. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa.....	101
Figura 24. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa.....	103
Figura 25. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa.....	104
Figura 26. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....	107

<i>Figura 27. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 28. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero</i>	<i>116</i>
<i>Figura 29. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero</i>	<i>116</i>
<i>Figura 30. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Plomo</i>	<i>121</i>
<i>Figura 31. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Plomo.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 32. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Plomo.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 33. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Zinc</i>	<i>127</i>
<i>Figura 34. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Zinc</i>	<i>129</i>
<i>Figura 35. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Zinc.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 36. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 37. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado.....</i>	<i>136</i>

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
DGAAMI	Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria
DIGAMI	Dirección de Gestión Ambiental
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Global Warming Power (PCG, en español)
HFC	Hidrofluorocarbonos
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MYPE	Micro y pequeña empresa
OGEIEE	Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos
PBI	Producto Bruto Interno
PCG	Potencial de calentamiento global (GWP, en inglés)
PIUP	Procesos Industriales y Uso de Productos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRODUCE	Ministerio de la Producción
RAGEI	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero
SAO	Sustancias que agotan la capa de ozono
SUNAT	Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria

RESUMEN EJECUTIVO

El Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) del Sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) describe el proceso de estimación y resultados de las emisiones de GEI correspondientes al año 2019 y de la actualización de las estimaciones de los años 2016, 2014, 2012, 2010, 2005 y 2000.

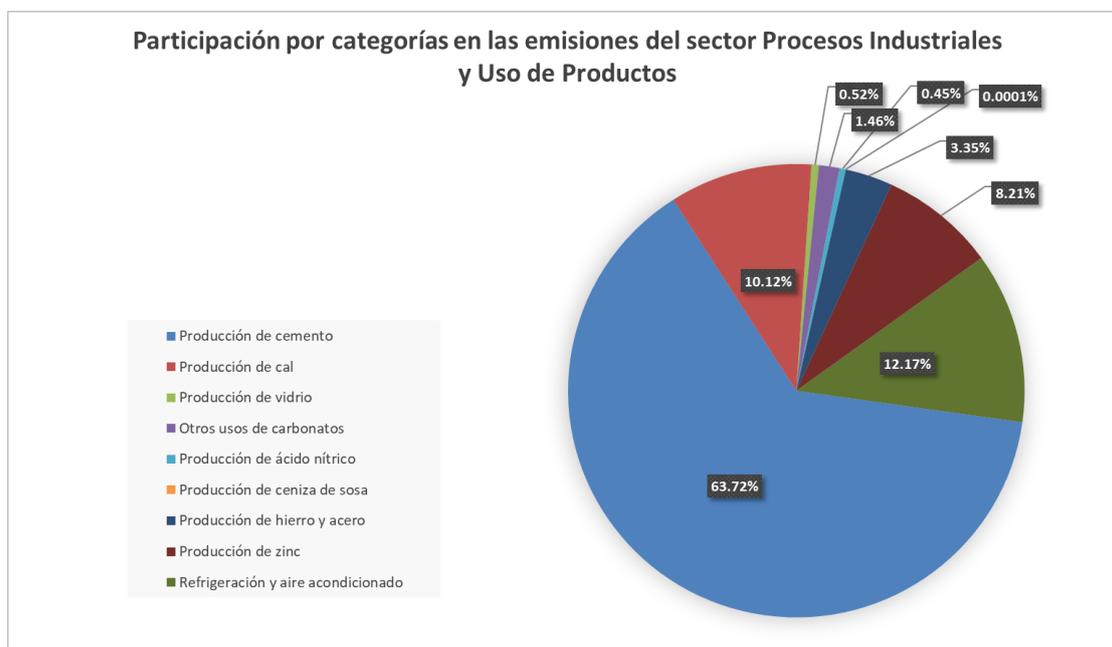
El RAGEI 2019 presenta los resultados de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hidrofluorocarbono (HFC) asociados a al sector PIUP, calculados aplicando la metodología de las Directrices del Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en adelante, Directrices del IPCC de 2006).

Los valores de GEI se reportan en forma agregada, expresados en dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), utilizando el Poder de Calentamiento Global (PCG) proporcionados por el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés), que se basan en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de cien años.

Las emisiones de GEI del sector PIUP resultaron en 7,475.47 Gg CO₂ eq, siendo la principal fuente de emisión la subcategoría 2A1 - Producción de Cemento con 4,763.47 Gg CO₂ eq que representa el 63.72% de las emisiones del sector, seguida por la subcategoría 2F1 - Refrigeración y aire acondicionado de los sustitutos fluorados de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO), con 909.91 Gg CO₂ eq que representa el 12.17%; éstas dos (2) fuentes de emisión representan un total de 75.89% de las emisiones del sector.

A continuación, la siguiente figura muestra la participación de las emisiones de GEI según fuente:

Figura 1. Participación porcentual de las emisiones en Gg CO₂eq de las categorías del sector PIUP, 2019



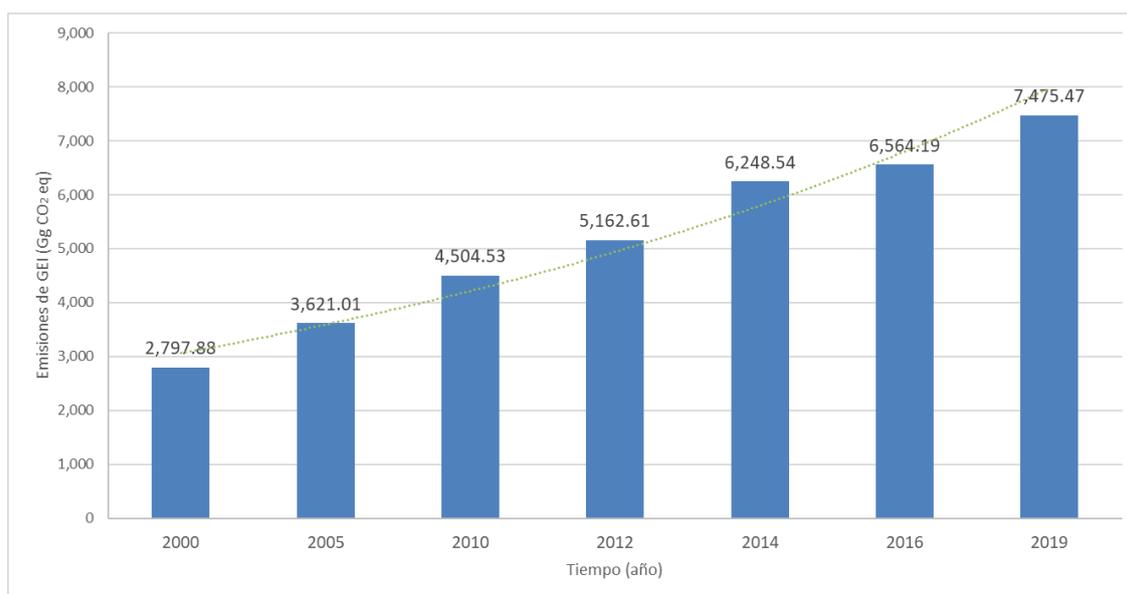
Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Se han actualizado las estimaciones de GEI correspondientes a los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016. Esto tomando en consideración algunas actualizaciones de los datos de actividad, mejoras metodológicas en el cálculo y cambio en los PCG empleados. En relación con los resultados de la serie temporal actualizada, a pesar de que las emisiones del año 2016 presentan

una disminución con relación al año 2014, se puede observar que las emisiones del sector han mantenido en promedio una tendencia creciente que se aproxima a un comportamiento exponencial. Desde el año 2000 al 2019 las emisiones crecieron 167 %. Aunque esto puede estar también asociado a las mejoras de los sistemas de información que se presentan con el tiempo.

La siguiente figura muestra la evolución de las emisiones en los años evaluados.

Figura 1. Evolución de las emisiones del sector PIUP en Gg CO₂ eq (años 2000, 2005, 2010, 2012 2014, 2016 y 2019)



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Asimismo, el presente inventario ha incluido como mejoras en las estimaciones de la sub categoría 2F1 - Refrigeración y aire acondicionado de los SAO, mejoras relacionadas a la obtención de información más específica por parte de algunas empresas, evaluación técnica de algunos sectores productivos, actualización de Potencial del Calentamiento Global (PCG), entre otras. Estas mejoras son el resultado de la revisión de lo aplicado en el RAGEI 2016, en el marco de la actualización de las estimaciones para el RAGEI 2019.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los compromisos del Perú como país parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) es la elaboración periódica de su Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). En dicho contexto, mediante la Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM se establece que el Ministerio de la Producción (PRODUCE) es la entidad competente encargada de la elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Sector Procesos Industriales y Uso de Productos y del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Categoría Aguas Residuales Industriales. Los Reportes Anuales de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) se elaboran periódicamente para formar parte del INGEI que se presenta como país ante la CMNUCC.

El “Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Procesos Industriales y Uso de Productos del año 2019” (RAGEI PIUP 2019) tiene como objetivo reportar las emisiones generadas durante el año 2019 en el país por parte de las diferentes actividades industriales asociadas a la transformación y uso de materiales; y, está conformado por varios documentos que describen el proceso y presentan los resultados obtenidos, los cuales incluyen al presente documento de reporte (informe), las planillas de cálculo para las estimaciones de los años 2019, 2016, 2014, 2012, 2010, 2005 y 2000, y el archivo de fuentes de información correspondiente.

Las estimaciones fueron realizadas siguiendo las metodologías recomendadas por el IPCC en las “Directrices IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”. Asimismo, se emplearon los valores de PCG proporcionados por el IPCC en su AR5.

El RAGEI PIUP 2019 ha sido elaborado por la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI) de PRODUCE con la asistencia técnica de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del Ministerio del Ambiente (MINAM).

2. SITUACIÓN DEL SECTOR

En el año 2019, el desempeño de la producción manufacturera, medida por el Índice de Volumen Físico (IVF) para el sector industrial manufacturero, registró una disminución de 1,7% respecto al año anterior (PRODUCE, 2020). Los principales factores que afectan el desempeño de la producción manufacturera están relacionados con el comportamiento del sector externo, el comportamiento del sector interno y el comportamiento del sector construcción.

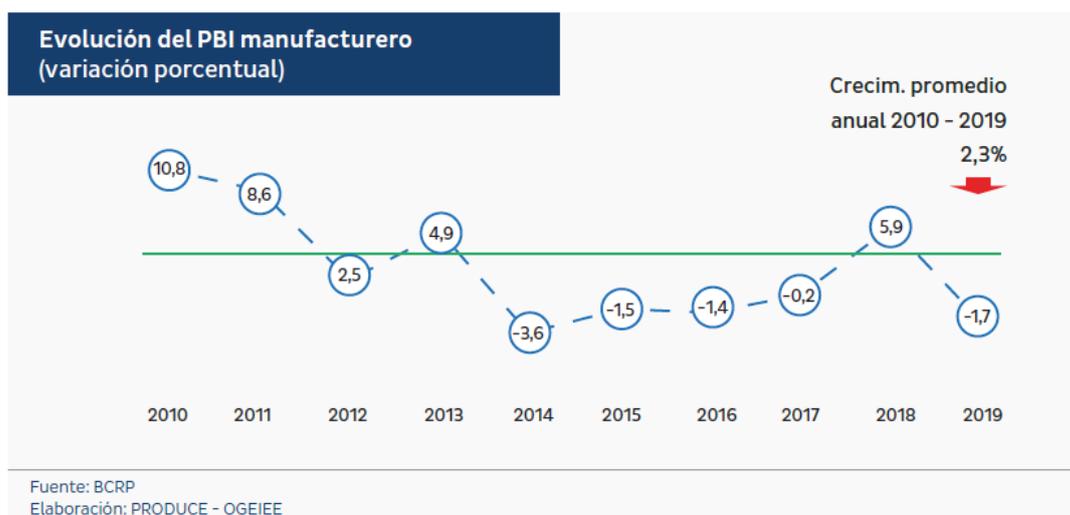
En relación con el sector externo, el desempeño de la producción manufacturera se vio afectado, entre otros factores, por la disminución de la demanda externa, donde se observa que el valor de las exportaciones se redujo con relación al año previo, lo que estaría asociado a la contracción de las actividades relacionadas a la elaboración y conservación de pescado, crustáceos y moluscos, así como la fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos (PRODUCE, 2020). Esta última industria también fue afectada por la caída del precio internacional de los metales básicos (PRODUCE, 2020).

Por su parte, en el sector interno, las principales actividades industriales orientadas a la demanda interna cerraron el año con comportamientos mixtos (PRODUCE, 2020). Por un lado, el menor consumo privado afectó a algunas actividades tales como: impresión y productos de molinería (PRODUCE, 2020). Por otro lado, se observa un aumento en la producción de bebidas gaseosas y aguas, productos de panadería y bebidas malteadas y de malta. Asimismo, de productos farmacéuticos y medicinales, influenciado por una mayor demanda de la población. (PRODUCE, 2020)

El débil desempeño del subsector fabril no primario en el año 2019 está asociado al reducido crecimiento registrado por los sectores económicos vinculadas a la industria manufacturera, siendo estos el sector construcción y comercio (PRODUCE, 2020). En 2019, el sector construcción creció apenas 1,3%, esta tasa incidió en algunas actividades industriales, principalmente, por el menor abastecimiento de insumos (PRODUCE, 2020). Sin embargo, el ligero incremento que registró el sector construcción se debió a un aumento en la ejecución de proyectos de infraestructura privada, el cual incidió en el desempeño positivo de la producción industrial de estructuras metálicas, materiales de construcción y artículos de hormigón y cemento. (PRODUCE, 2020)

En el año 2019, el Producto Bruto Interno (PBI) del sector manufacturero alcanzó los S/. 67 334 millones, manteniéndose como uno de los sectores con mayor participación en el PBI Nacional con un 12.3% (PRODUCE, 2020). Sin embargo, se observa una contracción de 1,7% en relación con el año anterior, esto debido a que, a pesar de que la actividad productiva del subsector fabril no primario aumentó, la actividad productiva primario tuvo una caída mayor de -8,8% (PRODUCE, 2020). El desempeño positivo del subsector fabril no primario fue resultado de la industria de bienes de consumo y bienes intermedios, mientras que la disminución del subsector manufacturero primario se debió a la caída de tres de las cinco ramas que la componen debido a una menor demanda interna y externa (PRODUCE, 2020). Las tres ramas que se contrajeron son de la elaboración y conservación de pescados, crustáceos y moluscos, de la industria de refinación de petróleo y de los productos primarios de metales preciosos y no ferrosos (PRODUCE, 2020). La siguiente figura muestra la evolución del PBI manufacturero.

Figura 2. Evolución del PBI Manufacturero



Fuente: PRODUCE, 2020

3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI

3.1 Organización para la elaboración del RAGEI

En diciembre del 2014 se promulgó el Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM, mediante el cual se aprobaron las Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (INFOCARBONO) cuya finalidad es establecer un conjunto de acciones orientadas a la recopilación, evaluación y sistematización de información referida a la emisión y remoción de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En julio de 2016, con la Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM se aprobaron las guías para la elaboración de reportes anuales de gases de efecto invernadero y la difusión del inventario nacional de gases de efecto invernadero, donde se establece, entre varios aspectos, que el PRODUCE es la entidad encargada de la elaboración del RAGEI del sector Procesos Industriales y Uso de Productos, de acuerdo con el alcance establecido por las Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales del 2006 (IPCC, 2006).

En tal sentido, desde el año 2016, el PRODUCE viene conduciendo de manera directa los procesos para la elaboración de sus propios RAGEI y presentándolos al MINAM en el marco del INFOCARBONO. En resumen, desde entonces, PRODUCE ha llevado a cabo tres procesos de elaboración de RAGEI PIUP: i) RAGEI del año 2014 (elaborado entre los años 2016 y 2017); ii) RAGEI del año 2016 (elaborado entre los años 2018 y 2021); y, iii) el RAGEI del año 2019, el presente (en curso, iniciado en el año 2021)¹.

¹ En adelante, se referirán como RAGEI 2014, RAGEI 2016, RAGEI 2019, respectivamente.

La elaboración del RAGEI PIUP se realiza bajo la coordinación de la Dirección General de Asuntos Ambientales de la Industria (DGAAMI) del Ministerio de la Producción, específicamente desde la Dirección de Gestión Ambiental (DIGAMI).

Además de la DGAAMI, la elaboración del RAGEI requirió de la participación de diversos actores al interior del PRODUCE, así como otras entidades. En la siguiente tabla, se resumen los roles de las principales entidades involucradas en la elaboración del RAGEI PIUP 2019.

Tabla 1. Rol de las entidades involucradas en la elaboración del RAGEI

Entidad	Rol en la elaboración de RAGEI
Ministerio de la Producción	Dirección de Gestión Ambiental (DIGAMI) de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI) <ul style="list-style-type: none"> • Responsable de la coordinación para la elaboración del RAGEI PIUP. • Responsable de la preparación del RAGEI (conformado por un informe, siete planillas de cálculo y un archivo con documentación de sustento). • Responsable de la recopilación y administración de la información necesaria para las estimaciones del RAGEI, tanto de informantes dentro del Ministerio de la Producción como de otras entidades públicas y/o privadas.
	Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos (OGEIEE) <ul style="list-style-type: none"> • Responsable de proveer la información nacional sobre la actividad del sector industrial.
Ministerio de Energía y Minas	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de proveer información nacional sobre la actividad del sector minero específicamente sobre producción minero-metálica de principales productos en etapas de fundición, refinamiento y peletizado, así como información sobre extracción de rocas minerales que proveen carbonatos a los procesos industriales.
Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de proveer información nacional sobre importaciones y exportaciones de productos como cal, carbonato de sodio, y ácido nítrico (Intendencia Nacional de Estudios Económicos y Estadística) • Responsable de proveer información de producción nacional sobre insumos químicos y bienes fiscalizados tales como cal, carbonato de sodio, y ácido nítrico (Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados).
Empresas	<ul style="list-style-type: none"> • Proveedores de información sobre sus actividades pertinentes al sector PIUP (variables relacionadas a su producción y consumo de materias primas).

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para la elaboración del RAGEI PIUP 2019, la DIGAMI de la DGAAMI, se organizó internamente, asignando un profesional a cargo de la supervisión y coordinación del RAGEI y contratando especialistas para apoyar con la recopilación de información, el cálculo de las emisiones y el desarrollo del reporte.

3.2 Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI

Las fuentes de información recolectadas fueron de dos tipos: (a) información publicada, que incluye publicaciones digitales de páginas de internet oficiales o (b) información recibida y comunicaciones que incluye mensajes de correo con archivos adjuntos, oficios, memorandos y cartas enviadas en digital o en físico. Para facilitar su ubicación, la información fue organizada de acuerdo con la fuente de emisión que permitía estimar. En algunos casos la información fue utilizada para determinar las emisiones (datos del cálculo) y en otros casos la información sirvió de sustento para tomar decisiones, como por ejemplo para identificar las principales empresas.

Para la recolección de información del sector privado (empresas), se mantuvo la identificación de empresas principales del RAGEI 2016², que consistió en la evaluación del directorio de registros de contribuyentes de la SUNAT³. Es así como se enviaron las solicitudes de información a un conjunto de empresas que al menos representaba el 80 % de las ventas. Esto se realizó para las subcategorías del sector PIUP correspondientes a producción de cemento, producción de vidrio, producción de hierro y acero y ácido nítrico⁴.

La data recibida y procesada ha sido archivada de manera digital. El resultado final es un archivo denominado “Documentos de soporte” con las fuentes de información utilizadas ordenadas por fuentes de emisión, con nombres estandarizados. La información archivada en esta carpeta forma parte del RAGEI PIUP 2019, e incluye toda la información utilizada para la estimación del año 2019 y la actualización de la serie temporal, sin embargo, no sustituye los documentos de soporte de los RAGEI anteriores, que aún siguen siendo parte de las estimaciones.

El archivo completo del RAGEI está conformado por los siguientes documentos: (a) el Informe final RAGEI (el presente documento); (b) las Planillas de Cálculo de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 (formato Excel); (c) la Planilla de Cálculo de GEI de la subcategoría 2F1 (refrigeración y aire acondicionado); y (d) el archivo de documentos de soporte mencionado. La Planilla de Cálculo del año 2019 incluye el análisis de incertidumbre a partir de los resultados finales de las estimaciones de toda la serie de tiempo evaluada. El archivo completo del RAGEI PIUP 2019 es administrado por la Dirección de Gestión Ambiental de Industrias de la DGAAMI, y se archiva también en la plataforma de Alfresco cuyas credenciales son asignadas a PRODUCE desde el MINAM.

Debido a que la información recopilada a nivel de empresas es reservada solo para ser usada en el RAGEI, para mantener la confidencialidad de esta información de las empresas, se han desarrollado dos versiones de las Planillas de Cálculo, la primera de ellas es una versión denominada “pública” donde los datos de las empresas se presentan de manera agregada, y la segunda es una versión completa donde se detallan todos los informantes y fuentes de información. La versión “pública” es la que se difundirá y publicará en el marco del INFOCARBONO y en sus plataformas de comunicación. La versión completa servirá para la gestión y uso interno del RAGEI y será administrada por la DGAAMI del Ministerio de la Producción y la DGCCD del Ministerio del Ambiente.

En este sentido, el presente documento mantiene la confidencialidad de la información reportada por las empresas, y por tal motivo no se mencionan nombres ni los datos específicos de sus plantas, a menos que la fuente de información sea pública. Todos los medios de verificación están guardados en el archivo de “documentos de soporte” mencionado, el cual se cita en este informe con la siguiente bibliografía: "Archivo de información de las empresas sobre sus niveles de actividad, recopilada en el marco del Reporte Anual de Gases de Efecto

² Que a su vez es la del RAGEI 2014.

³ La fuente es: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. (2015). *Directorio de empresas 2015 de la SUNAT (Registro Único de Contribuyentes)*. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria

⁴ En este caso la producción nacional solo ocurre por parte de una empresa.

Invernadero de Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2019 (Ministerio de la Producción del Perú, 2022” (PRODUCE, 2022a).

Con el fin de mantener la transparencia del RAGEI, las fuentes de información utilizadas son citadas en las secciones sobre los “Datos de actividad” y los “Factores de emisión y conversión” del presente informe, utilizando las denominaciones de la sección de “Bibliografía”. Asimismo, las fuentes de información también se especifican en las planillas de cálculo.

3.3 Control de la calidad y garantía de la calidad del RAGEI

Las actividades de Control de Calidad (CC) se realizaron de acuerdo con los recursos disponibles y el conocimiento sobre las categorías. Para ello, se aplicaron procedimientos generales en función a lo que establecen las orientaciones de las Directrices del IPCC de 2006, Volumen 1, Capítulo 6, Cuadro 6.1, pp. 6.10 y 6.11. Asimismo, el presente inventario ha incluido mejoras relacionadas a la obtención de información más específica por parte de algunas empresas, evaluación técnica de algunos sectores productivos, actualización de Potencial del Calentamiento Global (PCG), entre otras. Estas mejoras son el resultado de la revisión de lo aplicado en el RAGEI 2016, en el marco de la actualización de las estimaciones para el RAGEI 2019.

El proceso de garantía de la calidad es llevado a cabo bajo la coordinación de la DGCCD del MINAM mediante la contratación de revisores expertos en el sector PIUP. En este contexto, durante los meses de enero y febrero del año 2023 se han llevado a cabo reuniones donde se discutieron los hallazgos del equipo revisor (consultora GAUSS) y, como resultado de estas interacciones, se recibió de este, las recomendaciones de acciones urgentes, documentadas en la presentación “Garantía de la calidad del inventario nacional de gases de efecto invernadero del 2019 del Perú (2023)” (GAUSS, 2023). En este sentido, estas recomendaciones de acciones urgentes han sido consideradas en el presente reporte, las cuales se explican con más detalle en la sección 5.4.2.

Cabe indicar que, el informe final de la garantía de la calidad que se genere próximamente incluirá también recomendaciones para el próximo ciclo del inventario y a largo plazo. Las secciones sobre control de calidad y garantía de la calidad en la sección 5.4, desarrollará con más detalle los procedimientos y acciones llevadas a cabo.

4. METODOLOGÍA APLICADA

4.1 Metodología para el cálculo de emisiones de GEI

La estimación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector PIUP para el año 2019 y la actualización de las estimaciones para la serie de tiempo correspondiente a los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016 fueron realizadas, aplicando la metodología de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero – Directrices del IPCC de 2006 (IPCC, 2006).

Cabe indicar que la guía del MINAM (Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM) solo incluyó en el alcance del RAGEI PIUP tres categorías: “industria de los minerales”, “industria química” e

“industria de metales”. En este sentido, se ha priorizado el desarrollo y la aplicación de mejoras en estas tres categorías. Sin embargo, a la medida que se van fortaleciendo capacidades e incrementando el conocimiento sobre las metodologías y la información disponible, se incrementaría el alcance del RAGEI PIUP, tal es el caso de la fuente 2F, que se incluye por primera vez en el reporte. Se espera seguir mejorando la exhaustividad del inventario, que por la cantidad y la heterogeneidad de los procesos que incluye PIUP representa un gran reto y un esfuerzo constante.

La siguiente tabla describe las emisiones de GEI de las fuentes de emisión evaluadas en el RAGEI PIUP 2019. Si bien el IPCC en sus Directrices del IPCC de 2006 ha identificado los gases GEI generados (directos e indirectos) para cada fuente, no establece metodología para la estimación de emisiones de todos estos gases, por tanto, la estimación en estos casos no se realiza. Cabe indicar que no se abordaron las emisiones de precursores de GEI tales como CO, NOx y COVDM.

Tabla 2. Categoría y fuentes de emisiones del sector PIUP evaluadas y las emisiones estimadas

Codificación		Descripción	Categorización IPCC	GEI generados – directos e indirectos ⁵	GEI estimados RAGEI 2019
2		Procesos Industriales y uso de productos	Sector		
	2A	Industria de los minerales	Categoría		
		2A1 Producción de cemento	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
		2A2 Producción de cal	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
		2A3 Producción de vidrio	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
		2A4 Otros usos de carbonatos	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
		2A4a Cerámicas	Fuente	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
		2A4b Otros usos de la ceniza de sosa (carbonato de sodio)	Fuente	CO ₂ , CH ₄	CO ₂
	2B	Industria química	Categoría		
		2B2 Producción de ácido nítrico	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	N ₂ O
		2B7 Producción de ceniza de sosa (carbonato de sodio)	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂
	2C	Industria de los metales	Categoría		
		2C1 Producción de hierro y acero	Subcategoría	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂ , CH ₄
		2C5 Producción de plomo	Subcategoría	CO ₂	CO ₂
		2C6 Producción de zinc	Subcategoría	CO ₂	CO ₂
	2F	Sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono	Categoría		
		2F1 Refrigeración y aire acondicionado*	Subcategoría	(HFC, varios)	(HFC, varios)

*Nota *:* Es el primer proceso RAGEI que considera esta fuente de emisión, y su estimación representa una primera aproximación a la aplicación de las directrices del IPCC (2006). Es este contexto, que se presenta de manera simplificada. Los gases evaluados son: HFC-23, HFC-3, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227EA

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

⁵ En letras de color gris señalan los GEI de las fuentes de emisión para los cuales no se dispone de metodología del IPCC.

A diferencia del RAGEI 2016, este RAGEI está incluyendo en su alcance la subcategoría 2F1 correspondiente a las emisiones por la refrigeración y aire acondicionado. Estas emisiones se dan por el uso y producción de sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono, que contienen gases HFC, en sus diversas formas y niveles de pureza. Esta inclusión se realiza con el propósito de incrementar la exhaustividad de las estimaciones del sector PIUP, sin embargo, cabe indicar que la estimación realizada es una primera aproximación, dado que se han utilizado varios supuestos que simplifican el cálculo. De igual modo, este primer avance se considera importante, pues es un insumo para la identificación de mejoras para el próximo RAGEI.

Para comprender los cambios realizados en el RAGEI 2019 con respecto al RAGEI 2016, con relación con la metodología de cálculo de emisiones, se recomienda revisar la sección 5.3, donde se describen las actualizaciones realizadas en la serie temporal.

4.2 Metodología del análisis de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre ayudan a priorizar los esfuerzos para mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de metodología. Asimismo, permiten que los usuarios de los inventarios comprendan la fiabilidad real de la estimación total y de sus componentes.

El análisis de incertidumbre del sector Procesos Industriales y Uso de Productos se ha realizado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre de las Directrices del IPCC (2006). Este método consiste en la estimación de las incertidumbres usando la ecuación de propagación de errores mediante reglas de combinación. Además de obtener la incertidumbre para el sector, se ha obtenido para cada categoría y subcategoría.

El análisis obtiene la incertidumbre de la tendencia entre un año de interés y el año base, que en el presente caso es entre el año 2019 y el 2000. Para determinar la incertidumbre de los factores de emisión y de los datos de actividad se utilizaron los valores por defecto recomendados por las Directrices del IPCC de 2006. Cuando las directrices señalaban varios valores para considerar en la incertidumbre (en función a las hipótesis asumidas para el factor de emisión o el dato de actividad), se aplicaron las ecuaciones para la combinación de incertidumbres de IPCC (2006). Por otro lado, se optó por los valores medios cuando las directrices indicaban rangos. Cuando no existen emisiones en una subcategoría, ya sea en el año evaluado o en el año base, no se puede aplicar el método y, por tanto, no se puede evaluar la incertidumbre.

Para el RAGEI 2019 se ha mantenido la metodología general llevada a cabo en el RAGEI 2016. Sin embargo, se ha incorporado en el alcance de la evaluación a la subcategoría 2F1 (refrigeración y aire acondicionado) y se han cambiado algunos valores de incertidumbre dado que se ha profundizado en el conocimiento sobre los niveles de actividad (como ocurre en producción de ácido nítrico). Asimismo, se han realizado mejoras derivadas de las recomendaciones de acciones urgentes recibidas durante la garantía de la calidad (GAUSS ,

2023)⁶. Las acciones implementadas para mejorar la estimación de la incertidumbre se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3. Mejoras en la estimación de la incertidumbre del RAGEI PIUP

N°	Categoría involucrada	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
1	2A1: Producción de cemento	En la evaluación de incertidumbre del factor de emisión de esta subcategoría se excluyó las asociadas a “Hipótesis de que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda”, a “Hipótesis de que todos los carbonatos (calcinados o restantes) en el CKD son CaCO ₃ ” y a “Hipótesis de un 100 % de calcinación para el CKD”; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.
3	2A2: Producción de cal	En la evaluación de incertidumbre del dato de actividad de esta subcategoría se excluyó la asociada a “Corrección de cal hidratada” y se incluyó un valor de ± 20 % de incertidumbre asociada a “Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal comercial”; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.
4	2A2: Producción de cal	En la evaluación de incertidumbre del factor de emisión esta subcategoría se corrigió la ecuación utilizada en anteriores RAGEI, pues la que corresponde es la ecuación para sumas y restas (Ecuación 3.2 del Vol. 1 del IPCC 2006). Lo cual actualiza el valor calculado para la incertidumbre del factor de emisión a ± 1.73 %; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.
5	2B2: Producción de ácido nítrico	Dado que el factor de emisión fue modificado, debido a que se incrementó el conocimiento sobre esta actividad en el país, el valor de incertidumbre asignado fue modificado también, utilizando lo establecido por defecto en IPCC 2006 para plantas de baja presión.
6	2F1: Refrigeración y aire acondicionado	Se incorporó en el alcance de la evaluación esta fuente que se estima por primera vez en el RAGEI PIUP.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

El proceso de garantía de la calidad descrito en la sección 5.4.2, detalla las recomendaciones completas brindadas en GAUSS (2023).

4.3 Metodología para garantizar la coherencia de serie temporal

La elaboración del RAGEI 2019 ha implicado la actualización de las estimaciones previas de emisiones para la producción de cemento en los años 2010, 2012 y 2014; así como la producción de hierro y acero para los años 2012 y 2014, el detalle de los cambios se explica en las secciones sobre actualización de la serie temporal de las respectivas subcategorías. Para garantizar la

⁶ El proceso de garantía de la calidad aún está en curso, pero estas recomendaciones fueron recibidas de manera anticipada en febrero del 2023, mediante el documento referido como GAUSS (2023).

coherencia de la serie temporal, las fuentes de emisión evaluadas mantienen para todos los años el mismo alcance y metodología de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006.

Con el fin de incrementar la transparencia, se presenta la siguiente tabla que resume el uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal. En ella se considera como dato real, aquel que no ha sido procesado y que se ha tomado directamente de la fuente de información. Por otro lado, un dato calculado, es aquel que se ha obtenido a partir del procesamiento de la información ante un vacío de información. En algunos casos se ha usado una combinación de ambos datos para llegar al dato nacional deseado. Asimismo, la tabla indica como datos considerados como nulos cuando se decidió considerar el dato nacional como cero, debido a que la fuente de información no registra valores.

Tabla 4. Resumen del uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Uso de datos reales y/o calculados en los años de la serie temporal								
				2019	2016	2014	2012	2010	2005	2000		
2	Procesos Industriales y uso de productos											
2A	Industria de los minerales											
	2A1	Producción de cemento	Masa de clínker producido	Producción de clínker	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	
				Contenido de óxido de calcio en el clínker	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	
	2A2	Producción de cal	Producción de cal	Producción de cal	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	Real	
	2A3	Producción de vidrio	Masa del vidrio producido	Producción de vidrio fundido	Real Calculado	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	
			Proporción de cullet (vidrio reciclado) para el proceso	Proporción de cullet (vidrio reciclado) para el proceso	Real Calculado	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	
	2A4	Otros usos de carbonatos en los procesos										
	2A4a	Cerámicas	Masa del carbonato (calcita o dolomita) consumido en los procesos	Producción de cerámicas de piso y pared	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	
				Producción de ladrillo de techo (hueco)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
				Producción de ladrillo king Kong	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
				Producción de ladrillo pandereta	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
				Producción de otros ladrillos para muro	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
				Producción de ladrillo de techo (hueco)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
				Masa promedio de cerámicas de piso y pared	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
				Masa promedio por unidad de ladrillo king kong	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
				Masa promedio por unidad de ladrillo pandereta	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
				Masa promedio por unidad de otros ladrillos para muro	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado
	2A4b	Otros usos de la ceniza de sosa	Masa de ceniza de sosa consumida en los procesos	Importaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	
				Exportaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Uso de datos reales y/o calculados en los años de la serie temporal									
				2019	2016	2014	2012	2010	2005	2000			
2			Procesos Industriales y uso de productos										
			Producción de carbonato de sodio	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado		
			Consumo de carbonato de sodio para la producción de vidrio	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado		
2B			Industria química										
	2B2		Producción de ácido nítrico	Producción de ácido nítrico	Producción de ácido nítrico	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	
	2B7		Producción de ceniza de sosa	Ceniza de sosa producida o cantidad de mineral trona utilizado para su producción	Producción de carbonato de sodio	Real	Real	Real	Calculado	Calculado	Calculado	Calculado	
2C			Industria de los metales										
	2C1		Producción de hierro y acero	Producción de acero (crudo) por tipo de tecnología (EAF, OHF, BOF)	Producción de Acero en hornos de arco eléctrico – EAF	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	
					Producción de Acero en hornos de reverbero – OHF	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Producción de Acero en hornos básicos de oxígeno – BOF	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Producción de acero (crudo)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Cantidad de chatarra de acero utilizada para la producción de acero	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Cantidad de producción de arrabio (hierro producido en alto horno) no convertido en acero	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Cantidad de hierro directamente reducido producido	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Cantidad de pelets producidos	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Cantidad de sinterizado producido	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real
			Cantidad de hierro producido en alto horno (arrabio convertido y	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) que no es convertido a acero	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real		
				Producción de hierro directamente reducido (DRI)	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real		
				Producción de peletizado de concentrado de Hierro	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real		
				Producción de sinterizado de concentrado de Hierro	Real	Real	Real	Real	Real	Real	Real		
				Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) total (convertido y no convertido en acero)	Real Calculado	Real Calculado	Real Calculado	Real Calculado	Real Calculado	Real Calculado	Real Calculado		

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Uso de datos reales y/o calculados en los años de la serie temporal							
				2019	2016	2014	2012	2010	2005	2000	
2			Procesos Industriales y uso de productos								
			no convertido en acero), toneladas								
	2C5		Producción de plomo	Producción de plomo por fuente (primario y secundario) y por tipo de proceso (Imperial Smelting Furnaces, fundición directa)	Producción minera de Plomo (fundido)	Considerado nulo					
					Producción minera de Plomo (refinado)	Considerado nulo	Real	Real	Real	Real	Real
	2C6		Producción de zinc	Cantidad de zinc producido por tipo de proceso (Waelz Kiln, pirometalúrgico, electrotérmico)	Producción minera de Zinc (fundido)	Considerado nulo					
					Producción minera de Zinc (refinado)	Real	Real	Real	Real	Real	Real
2F			Sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono								
	2F1		Refrigeración y aire acondicionado*	Consumo de HFC en Refrigeración y aire acondicionado*	Producción de sustancia refrigerante	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Importación de sustancia refrigerante	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Exportación de sustancia refrigerante	Real	Real	Real	Real	Real	Real
					Destrucción de sustancia refrigerante	Real	Real	Real	Real	Real	Real

Nota *: Es el primer proceso RAGEI que considera esta fuente de emisión, y su estimación representa una primera aproximación a la aplicación de las directrices del IPCC (2006). Es este contexto, que mucha de la información sobre esta fuente de emisión está simplificada.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

5. RESULTADO SECTORIAL

5.1 Análisis de resultados

El sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) incluye las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por los procesos industriales, el uso de GEI en los productos y por el uso no energético del carbono contenido en combustibles fósiles (IPCC, 2006). El IPCC lo define como: "Emisiones de productos industriales y uso de productos, excluyendo los vinculados a la combustión de energía, emisiones fugitivas por la extracción, procesamiento y transporte de combustibles (declaradas en 1B) y transporte, inyección y almacenamiento de CO₂ (declaradas en 1C)".

El presente RAGEI ha abordado cuatro categorías y doce subcategorías. La primera categoría es la industria de los minerales, en ella se han estimado las emisiones de GEI de la producción de cemento, la producción de cal, la producción de vidrio y de otros usos de carbonatos (que incluye cerámicas y ceniza de sosa). La segunda categoría es la industria química, la cual considera la producción de ácido nítrico y la producción de ceniza de sosa. La tercera categoría evaluada es la industria de los metales, donde se abordan las emisiones de la producción de hierro y acero, la producción de plomo y la producción de zinc. La cuarta y última categoría corresponde a los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono, donde se ha estimado la subcategoría de refrigeración y aire acondicionado.

El principal GEI emitido por el sector PIUP es el dióxido de carbono, pero también puede emitirse metano, óxido nítrico y diversos HFC. La producción de hierro y acero (subcategoría 2C1), además de dióxido de carbono, emite metano⁷; la producción de ácido nítrico (subcategoría 2B2) emite óxido nítrico; y, la refrigeración y aire acondicionado emite HFC (HFC-23; HFC-32; HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227EA). El resto de las fuentes de emisión evaluadas generan solo dióxido de carbono.

El resultado sectorial de la estimación de las emisiones del sector PIUP para el año 2019 es igual a 7,475.47 Gg CO₂ eq donde la subcategoría 2A1 - Producción de Cemento es la más representativa participando con el 64 % de las emisiones estimadas (4,763.47 Gg CO₂). Debido a la magnitud de esta subcategoría, la categoría a la que pertenece (industria de los minerales) es la de mayor participación en el sector PIUP con 75.8 % de las emisiones en el año 2019 (5,667.41 Gg CO₂). Las otras tres categorías, industria química, industria de los metales y sustitutos fluorados de sustancias que agotan la capa de ozono, participan con un 0.5 %, 11.6 % y 12.2 % respectivamente⁸. A continuación, se presentan los cuadros y figuras que resumen los resultados con el detalle de las emisiones por subcategoría (ver las siguientes tablas y figuras).

⁷ En el RAGEI PIUP 2019 las emisiones de metano son nulas, pero en otros años de la serie temporal sí han ocurrido.

⁸ Los porcentajes señalados corresponden a la participación con relación a las emisiones de CO₂ eq.

Tabla 5. Cuadro resumen por subcategorías – Emisiones de GEI, 2019 – Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Categorías	CO ₂ neto	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Otros gases halogenados con factores de conversión de equivalente de CO ₂	Otros gases halogenados sin factores de conversión de equivalente de CO ₂
	(Gg)			Equivalente de CO ₂ (Gg)				
2	Procesos Industriales y uso de productos							
2A	Industria de los minerales							
2A1	4,763.47							
2A2	756.15							
2A3	39.01							
2A4								
2A4a	107.00							
2A4b	1.79							
2A4c	NE							
2A4d	NE							
2A5	NE							
2B	Industria química							
2B1	NA							
2B2			0.13					
2B3			NE					
2B4			NE					
2B5	NE	NE						
2B6	NE							
2B7	0.01							
2B8								
2B8a	NE	NE						
2B8b	NE	NE						
2B8c	NE	NE						
2B8d	NE	NE						
2B8e	NE	NE						
2B8f	NE	NE						
2B9								
2B9a				NE	NE	NE	NE	
2B9b				NE	NE	NE	NE	
2B10								
2C	Industria de los metales							
2C1	250.46	NO						
2C2	NE	NE						
2C3	NO				NE			
2C4	NE			NE	NE	NE	NE	NE
2C5	NO							
2C6	613.91							
2C7								
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y solventes							
2D1	NE							
2D2	NE							
2D3								
2D4								

Categorías		CO ₂ neto	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Otros gases halogenados con factores de conversión de equivalente de CO ₂	Otros gases halogenados sin factores de conversión de equivalente de CO ₂
		(Gg)			Equivalente de CO ₂ (Gg)				
2E	Industrial electrónica								
2E1	Circuitos integrados o semiconductores				NE	NE	NE	NE	NE
2E2	Pantalla plana tipo TFT				NE	NE	NE	NE	NE
2E3	Productos fotovoltaicos / células fotovoltaicas				NE	NE	NE	NE	NE
2E4	Fluidos de transferencia térmica							NE	NE
2E5	Otros								
2F	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono								
2F1	Refrigeración y aire acondicionado								
2F1a	Refrigeración y aire acondicionado estacionario				909.91	NE			
2F1b	Aire acondicionado móvil					NE			
2F2	Agentes espumantes				NE				
2F3	Protección contra incendios				NE	NE			
2F4	Aerosoles				NE	NE			
2F5	Solventes				NE	NE			
2F6	Otras aplicaciones				NE	NE			
2G	Manufactura y utilización de otros productos								
2G1	Equipos eléctricos								
2G1a	Manufactura de equipos eléctricos (Nota 13)					NE	NE		
2G1b	Uso de equipos eléctricos (Nota 13)					NE	NE		
2G1c	Eliminación de equipos eléctricos (Nota 13)					NE	NE		
2G2	SF ₆ y PFC del uso de otros productos								
2G2a	Aplicaciones militares						NE		
2G2b	Aceleradores (Nota 14)						NE		
2G2c	Otros					NE	NE		
2G3	N ₂ O del uso de productos								
2G3a	Aplicaciones médicas			NE					
2G3b	Propulsor para productos presurizados y aerosoles			NE					
2G3c	Otros			NE					
2G4	Otros								
2H	Otros								
2H1	Industria de la pulpa y del papel								
2H2	Industria de la alimentación y la bebida								
2H3	Otros								

Leyenda:

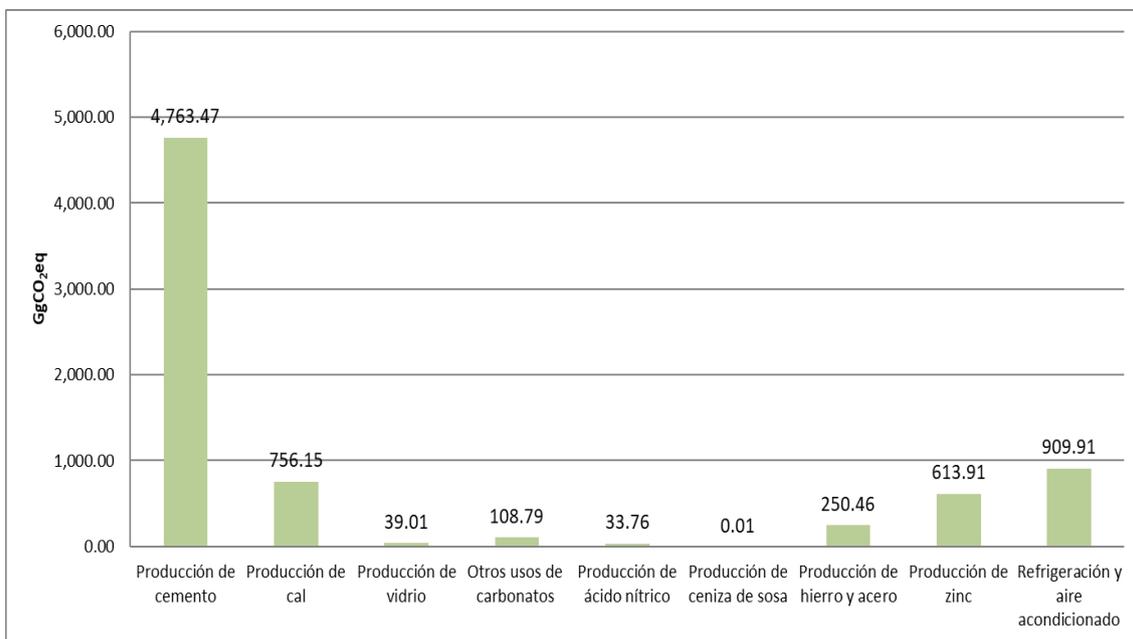
 denota los gases que pueden ocasionar emisiones, pero para los cuales no se dan orientaciones metodológicas

 denota los gases que no se consideran en las emisiones y por tanto no se ofrecen orientaciones metodológicas

Claves de notación:

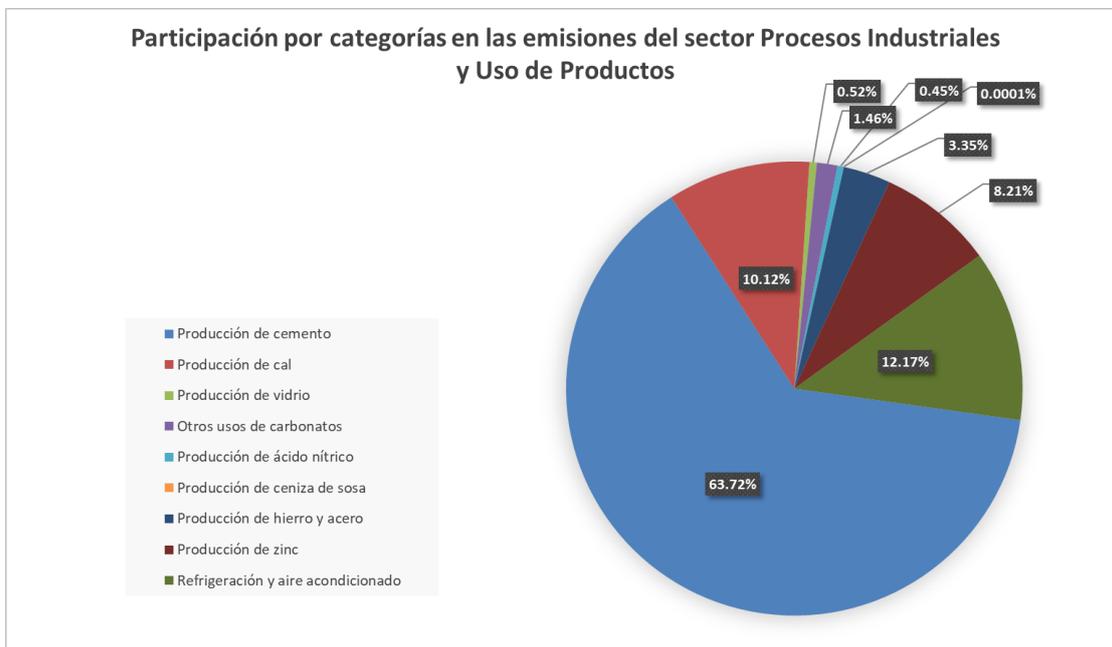
NE: No estimado - IE: Incluida en otro lugar - C: Información confidencial - NA: No aplicable - NO: No ocurre

Figura 3. Emisiones en Gg CO₂eq de las categorías del sector PIUP, 2019



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Figura 4. Participación porcentual de las emisiones en Gg CO₂eq de las categorías del sector PIUP, 2019



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Tabla 6. Cuadro resumen por categorías – Emisiones de GEI, 2019 - Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Categorías	CO ₂ neto	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Otros gases halogenados con factores de conversión de equivalente de CO ₂	Otros gases halogenados sin factores de conversión de equivalente de CO ₂	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
	(Gg)			Equivalente de CO ₂ (Gg)					(Gg)			
2 Procesos Industriales y uso de productos	6,531.80	0.0	0.13	909.91	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A Industria de los minerales	5,667.41	NE	NE						NE	NE	NE	NE
2B Industria química	0.01	NE	0.13	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2C Industria de los metales	864.38	0.0	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2D Uso de productos no energéticos de combustibles y solventes	NE	NE	NE						NE	NE	NE	NE
2E Industrial electrónica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	NE	NE	NE	909.91	NE		NE	NE	NE	NE	NE	NE
2G Manufactura y utilización de otros productos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2H Otros	NE	NE	NE						NE	NE	NE	NE

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Anexo 8A.2, p. T.10, Cuadro B

Luego de la producción de cemento, la siguiente fuente de emisión más significativa en el año 2019 es la de refrigeración y aire acondicionado con una emisión de 909.91 Gg de CO₂ eq. En tercer lugar, se encuentra la producción de cal, con una emisión de 756.15 Gg de CO₂, siguiéndole la producción de zinc que se estima generó 613.91 Gg de CO₂.

Por tipo de GEI, las emisiones en el año 2019 se componen por 6,531.80 Gg de dióxido de carbono, 33.76 Gg CO₂ eq de óxido nitroso (igual a 0.13 Gg de óxido nitroso), y 909.91 Gg CO₂ eq de HFC⁹. A diferencia de años anteriores las emisiones de metano fueron nulas.

Los resultados muestran que las emisiones del sector PIUP tienen un comportamiento creciente exponencial con una variación anual promedio de 8.8 %. Donde la principal fuente de emisión corresponde a las emisiones de dióxido de carbono de la producción de cemento.

En general, las categorías evaluadas en el sector PIUP, por definición, están vinculadas con el sector manufactura. Sin embargo, existen vínculos con otros sectores dado que los productos y/o insumos vinculados a PIUP son parte de cadenas productivas de mayor alcance. En tal sentido, la industria de los minerales y la industria de los metales tienen una fuerte relación con el sector construcción ya que estos sectores generan grandes demandas en la producción de los materiales minerales y/o metálicos. Por otro lado, la industria química se vincula principalmente a la manufactura ya que los productos generados (amoníaco, ácido nítrico y ceniza de sosa) son insumos en otros procesos industriales. Como se mencionó previamente, los principales factores que afectan el desempeño de la producción manufacturera están relacionados con el comportamiento del sector externo, el comportamiento del sector interno, el comportamiento del sector construcción y otros factores extraeconómicos.

Entre los factores que determinan el comportamiento del sector construcción se encuentran la ejecución de proyectos de infraestructura y la inversión privada en el sector minero. Un aumento de estos factores significaría un aumento en la demanda de productos como el cemento, la cal y las estructuras metálicas.

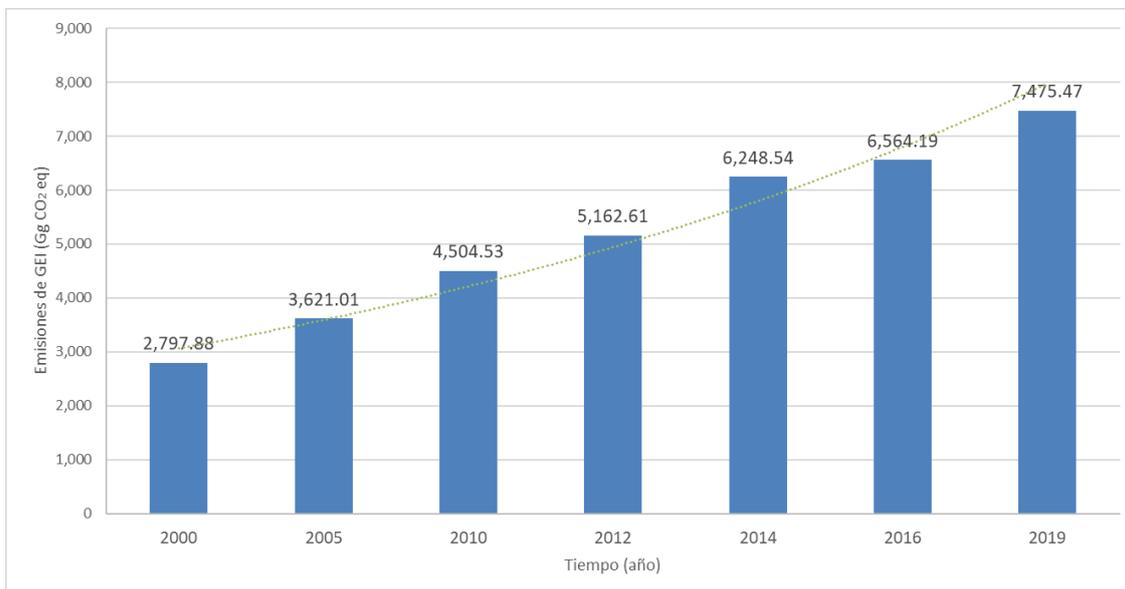
Asimismo, en el presente documento se mantiene la confidencialidad de la información reportada por las empresas, y por tal motivo no se mencionan los nombres de las empresas ni los datos específicos de sus plantas, a menos que la fuente de información sea pública. Todos los medios de verificación están guardados en la carpeta "Documentos de soporte" (citado como parte de PRODUCE, 2022a).

En relación con los resultados de la serie temporal actualizada, a pesar de que las emisiones del año 2016 presentan una disminución con relación al año 2014, se puede observar que las emisiones del sector han mantenido en promedio una tendencia creciente que se aproxima a un comportamiento exponencial. Desde el año 2000 al 2019 las emisiones crecieron 167 %. Aunque esto puede estar también asociado a las mejoras de los sistemas de información que se

⁹ Dato que agrega diversos HFC, en el año 2019 corresponde a HFC-23; HFC-32; HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, hfc-152a, HFC-227EA.
Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Procesos Industriales y Uso de Productos del año 2019 Página 34

presentan con el tiempo. La siguiente figura muestra la evolución de las emisiones en los años evaluados.

Figura 5. Evolución de las emisiones del sector PIUP en Gg CO₂ eq (años 2000, 2005, 2010, 2012 2014, 2016 y 2019)



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

5.2 Análisis de incertidumbre

Los resultados del análisis de incertidumbre del sector PIUP, tomando como año base el 2000, indican que la incertidumbre combinada como porcentaje del total de las emisiones sectoriales en el año 2019 es igual a $\pm 28.36\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 14.69\%$.

Cuando no existen emisiones en una subcategoría, ya sea en el año evaluado o en el año base, no se puede aplicar el método y, por tanto, no se puede evaluar la incertidumbre. Esto ocurre para las emisiones de CO₂ de la producción de plomo¹⁰, de N₂O de la producción de ácido nítrico y CH₄ de la producción de hierro y acero. La siguiente tabla presenta la estimación de incertidumbre para todo el sector.

¹⁰ Para los años 2000 y 2005, sí hay estimaciones para las emisiones de plomo.

Tabla 7. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del sector PIUP

INCERTIDUMBRE DEL SECTOR													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Código de categorías de fuentes - Directrices del IPCC de 2006	Categoría del IPCC	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2019	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad tipo A	Sensibilidad tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada Gg CO ₂ eq	Datos de entrada Gg CO ₂ eq	Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$(G \cdot D)^2 / (\sum D)^2$ %	Nota B %	D / $\sum C$ %	I · F %	J · E · $\sqrt{2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %
2	Procesos Industriales y uso de productos												
2A	Industria de los minerales												
2A1	Producción de Cemento	CO ₂	1,782.14	4,763.47	1.50%	30.12%	30.16%	3.69%	0.00%	170.25%	0.00%	3.61%	0.13%
2A2	Producción de Cal	CO ₂	24.43	756.15	20.00%	1.73%	20.07%	0.04%	0.25%	27.03%	0.00%	7.64%	0.58%
2A3	Producción de Vidrio	CO ₂	34.39	39.01	40.31%	60.00%	72.28%	0.00%	-0.02%	1.39%	-0.01%	0.79%	0.01%
2A4	Otros usos de Carbonatos												
2A4a	Cerámicas	CO ₂	62.39	107.00	2.83%	3.00%	4.12%	0.00%	-0.02%	3.82%	0.00%	0.15%	0.00%
2A4b	Otros usos de la Ceniza de Sosa	CO ₂		1.79	2.83%	3.00%	4.12%	0.00%	0.00%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%
2B	Industria química												
2B7	Producción de Ceniza de Sosa	CO ₂	0.03	0.01	5.00%	0.00%	5.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2C	Industria de los metales												
2C1	Producción de Hierro y Acero	CO ₂	592.07	250.46	10.00%	25.00%	26.93%	0.01%	-0.47%	8.95%	-0.12%	1.27%	0.02%
2C5	Producción de Plomo	CO ₂	62.44	0.00	0.00%	50.00%	50.00%	0.00%	-0.06%	0.00%	-0.03%	0.00%	0.00%
2C6	Producción de Zinc	CO ₂	221.02	613.91	10.00%	50.00%	50.99%	0.18%	0.01%	21.94%	0.00%	3.10%	0.10%
2C	Industria de los metales												
2C1	Producción de Hierro y Acero	CH ₄	0.03	0.00	10.00%	25.00%	26.93%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2B	Industria química												
2B2	Producción de Ácido Nítrico	N ₂ O	0.00	33.76	2.00%	10.00%	10.20%	0.00%	0.01%	1.21%	0.00%	0.03%	0.00%
2F	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono												
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	18.94	909.91	25.00%	165.00%	166.88%	4.13%	0.31%	32.52%	0.51%	11.50%	1.32%
	Total sector PIUP	CO₂eq	2,797.88	7,475.47									

Incertidumbre en el total del sector: **8%**
28.36%

Incertidumbre en la tendencia: **2.16%**
14.69%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Los resultados de la evaluación de incertidumbre muestran que para el sector PIUP, la mayor incertidumbre es aportada por la estimación de las emisiones de HFC de la refrigeración y aire acondicionado (2F1). Esta fuente tiene una incertidumbre combinada como porcentaje del total de las emisiones sectoriales nacionales en el año 2019, igual a $\pm 278.50\%$. Este alto porcentaje de incertidumbre combinada se deben en primer lugar a que esta fuente tiene un gran peso en las emisiones totales (siendo la segunda más significativa después de cemento) y en segundo lugar a las hipótesis asumidas sobre el nivel de actividad que incrementan la incertidumbre.

La siguiente tabla presenta los resultados de la estimación de la incertidumbre por cada una de las tres categorías evaluadas.

Tabla 8. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del RAGEI PIUP por categorías

Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	A	B	E	F	H	
						Gas
	Categoría del IPCC		Datos de entrada %	Datos de entrada %	$(G \cdot D) / \Sigma D$ %	
2	Procesos Industriales y uso de productos					
2A	Industria de los minerales					
	2A1	Producción de Cemento	CO ₂	1.50%	30.12%	6.43%
	2A2	Producción de Cal	CO ₂	5.00%	1.73%	0.07%
	2A3	Producción de Vidrio	CO ₂	40.31%	60.00%	0.00%
	2A4	Otros usos de Carbonatos				
	2A4a	Cerámicas	CO ₂	2.83%	3.00%	0.00%
	2A4b	Otros usos de la Ceniza de Sosa	CO ₂	2.83%	3.00%	0.00%
						$\pm 6.50\%$
2B	Industria química					
	2B2	Producción de Ácido Nítrico	N ₂ O	2.00%	10.00%	1.04%
	2B7	Producción de Ceniza de Sosa	CO ₂	5.00%	0.00%	0.00%
						$\pm 40.03\%$
2C	Industria de los metales					
	2C1	Producción de Hierro y Acero	CO ₂	10.00%	25.00%	7.80%
	2C6	Producción de Zinc	CO ₂	10.00%	50.00%	36.22%
						$\pm 44.02\%$
2C	Sustitutos fluorados para las sustancia que agotan la capa de ozono					
	2C1	Refrigeración y aire acondicionado	CO ₂	25.00%	165.00%	278.50%
						$\pm 278.50\%$

En las secciones sobre análisis de incertidumbre de cada subcategoría se describe con mayor detalle la estimación de incertidumbre realizada y sus resultados. Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre, se recomienda ver las hojas "Incertidumbre – resultados" e "Incertidumbre – valores" en la Planilla de Cálculo del año 2019.

5.3 Actualización de la serie temporal

Las estimaciones de la serie temporal se actualizan a la medida que en los nuevos procesos RAGEI se van incorporando mejoras en la calidad de los cálculos y de la información utilizada. Dado que en el marco de la elaboración del RAGEI 2019 se ha recogida más información sobre los niveles de actividad y se han ajustado algunos parámetros del método de cálculo, la serie de estimaciones de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2016 ha sido actualizada, para mantener la coherencia y consistencia con las estimaciones para el año 2019. La siguiente tabla describe las actualizaciones realizadas en la serie temporal.

Tabla 9. Actualizaciones implementadas en el RAGEI PIUP 2019 (mejoras aplicadas)

N°	Descripción de la actualización	Categoría involucrada	Años que actualiza	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
1	Se incrementó la información sobre el nivel de actividad de producción de cemento a partir de la recopilación de información de las empresas en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2A1: Producción de cemento	2000, 2012 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
2	Se recalculó el factor de emisión nacional teniendo en consideración la información complementaria recopilada en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2A1: Producción de cemento	2000, 2012 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
3	Se complementó la información sobre el nivel de actividad de producción de cerámicas, incluyendo de productos cerámicos para pared y piso. La fuente de información sigue siendo las estadísticas nacionales de PRODUCE.	2A4a: Producción de cerámicas	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
4	Se actualizó la estimación de las masas promedios de los productos de cerámica con información recopilada en el marco del RAGEI 2019 y registrada en la planilla de estimación de masas (PRODUCE, 2022b). Su estimación anterior se realizó en el marco del RAGEI 2014. Esto actualiza el nivel de actividad de todos los años, pues incluye reportes de más empresas e incluye productos para pared y piso.	2A4a: Producción de cerámicas	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
5	La fuente de información se cambió de estadísticas nacionales (SUNAT, 2017) a una información recopilada del sector privado (PRODUCE, 2022a)	2B2: Producción de ácido nítrico	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
6	Se modificó el factor de emisión de 5 a 9 Kg N ₂ O / tonelada de amoníaco de acuerdo con lo que corresponde a plantas de baja presión según IPCC (2006)	2B2: Producción de ácido nítrico	2000 ¹¹ , 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exactitud.

¹¹ El cambio no afecta directamente la estimación porque el nivel de actividad en el año 2000 es nulo. Sin embargo, se actualizó la planilla con los nuevos parámetros.

N°	Descripción de la actualización	Categoría involucrada	Años que actualiza	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
7	Se actualizó el valor de PCG para N ₂ O, cambiando el usado de 310 en el RAGEI 2016 a 265, que corresponde al valor asignado por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2013).	2B2: Producción de ácido nítrico	2000 ¹² , 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la comparabilidad.
8	Se incrementó la información sobre el nivel de actividad de la producción de hierro y acero debido a que se incluyó información reportada por una empresa que reportó en el marco de la recopilación del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a), y que no había reportado en RAGEI anteriores. Antes, se utilizaban sus memorias anuales que no tenían información sobre el nivel de actividad completa.	2C1: Producción de hierro y acero	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
9	Se cambió la tecnología asumida para una de las empresas que reportó que no había reportado en los procesos de RAGEI anteriores, eliminando el supuesto de que, cuando se desconoce la tecnología, el 50 % de la producción correspondía a hornos de inducción y un 50 % de hornos de arco eléctrico, por el dato reportado por la empresa en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2C1: Producción de hierro y acero	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exactitud.
10	Se actualizó el valor de PCG para CH ₄ , cambiando el usado en el RAGEI 2016, de 21 a 28, que corresponde al valor asignado por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2013).	2C1: Producción de hierro y acero	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la comparabilidad.

¹² El cambio no afecta directamente la estimación porque el nivel de actividad en el año 2000 es nulo. Sin embargo, se actualizó la planilla con los nuevos parámetros.

N°	Descripción de la actualización	Categoría involucrada	Años que actualiza	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
11	Dado que, durante la recopilación de información de las empresas para el RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a) una de ellas reportó haber producido hierro de alto horno que posteriormente sería convertido en acero por EAF, se agregó al cálculo la estimación de las emisiones producidas por la producción de hierro de alto horno. El factor de emisión por defecto para el proceso EAF no considera esas emisiones pues asume que el 100 % de la carga metálica que utiliza es chatarra (IPCC 2006, Volumen 3, Capítulo 4, Cuadro 4.1), lo cual no sería el caso de esta empresa. Este ajuste actualizó los resultados de las emisiones de esta subcategoría para los años 2016 y 2019. El cálculo de las emisiones por la producción de hierro utiliza el factor de emisión que indica el IPCC 2006 de 1.35. ¹³	2C1: Producción de hierro y acero	2016	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
12	Se incluyó en el alcance del RAGEI PIUP, por primera vez.	2F1: Refrigeración y aire acondicionado	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016	Mejora la exhaustividad

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente tabla presenta la comparación de los resultados de las estimaciones en la serie temporal (actualización en base a las mejoras antes mencionadas) y los resultados de las estimaciones previas (originales).

¹³ Esta mejora se realizó en el marco del proceso de garantía de la calidad.

Tabla 10. Serie temporal de emisiones originales y actualizadas: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019

Categorías	2000			2005			2010			2012			2014			2016			2019
	Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]			Emisiones GEI [GgCO ₂ eq]
	O	A	Δ %	O	A	Δ %	O	A	Δ %	O	A	Δ %	O	A	Δ %	O	A	Δ %	A
2A Industria de los minerales	1,864.06	1,903.36	2.11%	2,597.51	2,637.51	1.54%	3,723.71	3,769.17	1.22%	4,174.36	4,216.49	1.01%	5,117.19	5,164.68	0.93%	5,054.11	5,103.68	0.98%	5,667.41
2A1 Producción de cemento	1777.66	1,782.14	0.25%	2375.59	2,375.59	0.00%	3339.80	3,339.63	-0.01%	3731.34	3,731.34	0.00%	4590.80	4,590.80	0.00%	4223.75	4,223.48	-0.01%	4,763.47
2A2 Producción de cal	24.43	24.43	0.00%	147.44	147.44	0.00%	270.44	270.44	0.00%	319.64	319.64	0.00%	392.26	392.26	0.00%	702.85	702.85	0.00%	756.15
2A3 Producción de vidrio	34.39	34.39	0.00%	34.78	34.78	0.00%	34.45	34.45	0.00%	34.81	34.81	0.00%	33.32	33.32	0.00%	35.24	35.24	0.00%	39.01
2A4 Otros usos de carbonatos	27.57	62.39	126.28%	39.70	79.69	100.76%	79.01	124.65	57.76%	88.57	130.70	47.57%	100.82	148.30	47.10%	92.28	142.11	54.01%	108.79
2B Industria química	264.88	0.03	-99.99%	218.87	9.77	-95.53%	178.76	31.66	-82.29%	142.72	32.87	-76.97%	141.95	33.30	-76.54%	131.47	30.40	-76.88%	33.77
2B2 Producción de ácido nítrico	264.85	0.00	-100.00%	218.82	9.73	-95.56%	178.67	31.57	-82.33%	142.61	32.76	-77.03%	141.84	33.19	-76.60%	131.41	30.34	-76.92%	33.76
2B7 Producción de Ceniza de Sosa (Carbonato de Sodio)	0.03	0.03	0.00%	0.05	0.05	0.00%	0.09	0.09	0.00%	0.11	0.11	0.00%	0.11	0.11	0.00%	0.06	0.06	0.00%	0.01
2C Industria de los metales	537.31	875.55	62.95%	541.36	919.74	69.90%	568.29	569.54	0.22%	708.31	708.41	0.01%	731.69	736.58	0.67%	636.79	927.77	45.70%	864.38
2C1 Producción de hierro y acero	253.85	592.10	133.25%	196.48	574.87	192.59%	184.53	185.79	0.68%	150.73	150.83	0.06%	152.99	157.88	3.19%	99.56	390.54	292.26%	250.46
2C5 Producción de plomo	62.44	62.44	0.00%	63.48	63.48	0.00%													
2C6 Producción de zinc	221.02	221.02	0.00%	281.40	281.40	0.00%	383.75	383.75	0.00%	557.58	557.58	0.00%	578.70	578.70	0.00%	537.22	537.22	0.00%	613.91
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	N.E.	18.94		N.E.	53.99		N.E.	134.16		N.E.	204.85		N.E.	313.99		N.E.	502.35		909.91
2F1 Refrigeración y aire acondicionado	N.E.	18.94		N.E.	53.99		N.E.	134.16		N.E.	204.85		N.E.	313.99		N.E.	502.35		909.91
TOTAL	2,666.25	2,797.88	4.94%	3,357.73	3,621.01	7.84%	4,470.76	4,504.53	0.76%	5,025.39	5,162.61	2.73%	5,990.83	6,248.54	4.30%	5,822.37	6,564.19	12.74%	7,475.47

Legenda: O - Original, A - Actualizado, Δ - Variación con respecto a la estimación original

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE).

5.4 Control de calidad y garantía de calidad

5.4.1. Control de la calidad

En la Tabla 11 se describen los procedimientos generales de control de calidad aplicados en función a lo que establecen las orientaciones de las Directrices del IPCC de 2006.

Tabla 11. Procedimientos generales de control de calidad

Título del procedimiento IPCC	Procedimiento IPCC	Procedimientos realizados por PRODUCE
Verificar que las hipótesis y los criterios para la selección de datos de la actividad, factores de emisión y otros parámetros de estimación queden documentados.	Efectuar la verificación cruzada de los datos de la actividad, los factores de emisión y otros parámetros de estimación con la información relativa a las categorías y garantizar que la misma esté registrada y archivada correctamente	Realizado por la DGAAMI.
Controlar la existencia de errores de transcripción en la entrada de datos y referencias.	Confirmar que las referencias bibliográficas estén citadas correctamente en la documentación interna.	Realizado por la DGAAMI.
	Efectuar la verificación cruzada de una muestra de datos de entrada de cada categoría (mediciones o parámetros utilizados en los cálculos) para detectar errores de transcripción.	Realizado por la DGAAMI.
Verificar que las emisiones y remociones se calculen correctamente.	Reproducir un conjunto de cálculos de emisiones y remociones.	Realizado por la DGAAMI.
	Utilizar un método de aproximación simple que arroje resultados similares a los de los cálculos originales y más complejo, para garantizar que no haya errores en la entrada de datos ni en el cálculo.	No realizado. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Controlar que se registren correctamente los parámetros y las unidades y que se utilicen los factores de conversión adecuados.	Controlar que las unidades estén identificadas correctamente en las planillas de cálculos.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que se mantengan correctamente las unidades, desde el comienzo hasta el final del cálculo.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que los factores de conversión sean correctos.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que se usen correctamente los factores de ajuste temporal y espacial.	Realizado por la DGAAMI.
Comprobar la integridad de los archivos de la base de datos.	Examinar la documentación intrínseca incluida para: <ul style="list-style-type: none"> - confirmar que los pasos para el procesamiento de la información se encuentren bien representados en la base de datos. - confirmar que las relaciones de los datos se encuentren representadas en la base de datos. - garantizar que los campos de datos estén identificados y contengan las especificaciones de diseño correctas. - garantizar que se archive la documentación adecuada de la estructura y el funcionamiento de la base de datos y del modelo. 	Realizado por la DGAAMI.

Título del procedimiento IPCC	Procedimiento IPCC	Procedimientos realizados por PRODUCE
Comprobar la coherencia de los datos entre las diferentes categorías.	Identificar parámetros comunes a muchas categorías (p. ej. datos de la actividad y constantes) y confirmar que haya coherencia en los valores usados para estos parámetros en los cálculos de emisión/remoción.	Realizado por la DGAAMI.
Verificar que el movimiento de los datos del reporte a través de los pasos del procesamiento sea correcto.	Controlar que los datos de emisiones y remociones estén agregados correctamente, de los niveles inferiores a los niveles superiores de generación de informes, al elaborar los resúmenes.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que se transcriban correctamente los datos de emisiones y remociones entre los diferentes productos intermedios.	Realizado por la DGAAMI.
Corroborar que se estimen y calculen correctamente las incertidumbres de las emisiones y remociones.	Controlar que los antecedentes de quienes proporcionan el dictamen de expertos para las estimaciones de incertidumbres sean adecuados.	Realizado por la DGAAMI.
	Comprobar que se registren los antecedentes, las hipótesis y los dictámenes de expertos.	Realizado por la DGAAMI.
	Comprobar que las incertidumbres calculadas estén completas y hayan sido calculadas correctamente.	Realizado por la DGAAMI.
	De ser necesario, duplicar los cálculos de incertidumbre de una muestra pequeña de las distribuciones de probabilidad usadas por los análisis de Monte Carlo (por ejemplo, mediante los cálculos de incertidumbre según el Método 1).	No se realizó. Se requieren fortalecer capacidades sobre incertidumbre en la DGAAMI.
Controlar la coherencia de la serie temporal.	Controlar la coherencia temporal de los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría.	Realizado por la DGAAMI.
	Verificar la coherencia del algoritmo/método utilizado para los cálculos a través de la serie temporal.	Realizado por la DGAAMI.
	Verificar los cambios metodológicos y de datos que producen nuevos cálculos.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que los efectos de las actividades de mitigación queden reflejados correctamente en los cálculos de la serie temporal.	No se realizó. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Controlar la exhaustividad	Confirmar que se declaren las estimaciones para todas las categorías y para todos los años, a partir del año de base correspondiente, hasta el período del inventario actual.	Realizado por la DGAAMI (Se realizó a la medida de lo posible para subcategorías seleccionadas de acuerdo con la disponibilidad de recursos y las prioridades del sector)
	Para las subcategorías, confirmar que quede cubierta la categoría en su totalidad.	Realizado por la DGAAMI. (Se realizó a la medida de lo posible para subcategorías seleccionadas de acuerdo con la disponibilidad de recurso y las prioridades del sector)

Título del procedimiento IPCC	Procedimiento IPCC	Procedimientos realizados por PRODUCE
	Proporcionar una definición clara de «Otro» tipo de categorías.	No aplica porque no se abordaron fuentes de emisión en “otros”.
	Controlar que se documenten los vacíos de datos conocidos que producen estimaciones incompletas, incluida una evaluación cualitativa de la importancia de la estimación respecto de las emisiones totales (p. ej., las subcategorías clasificadas como «sin estimar»)	Realizado por la DGAAMI.
Controles de tendencia	Para cada categoría, deben compararse las estimaciones actuales del inventario con las estimaciones anteriores, si están disponibles. Si hay cambios significativos o divergencias de las tendencias esperadas, volver a controlar las estimaciones y explicar las diferencias. La existencia de cambios significativos en las emisiones o remociones de los años anteriores puede indicar posibles errores de entrada o cálculo.	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar el valor de los factores de emisión implícitos (emisiones agregadas divididas por los datos de la actividad) en la serie temporal. - ¿Algún año presenta valores erráticos no explicados? - Si se mantienen estáticos en toda la serie temporal, ¿están capturándose los cambios en las emisiones o remociones?	No se realizó. No se cuenta con personal especializado para conducir este tipo de evaluación y se requieren fortalecer capacidades en la DGAAMI.
	Verificar si se advierten tendencias inusuales e inexplicadas para los datos de la actividad u otros parámetros en la serie temporal.	No se realizó. No se cuenta con personal especializado para conducir este tipo de evaluación y se requieren fortalecer capacidades en la DGAAMI.
Revisión y archivo de la documentación interna.	Comprobar que exista documentación interna detallada que respalde las emisiones y permita la reproducción de las estimaciones de emisión, remoción e incertidumbre.	Realizado por la DGAAMI.
	Comprobar que los datos del reporte, los datos de respaldo y los registros del reporte se archiven y guarden para facilitar la revisión detallada	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar que el archivo esté cerrado y conservado en un sitio seguro, una vez finalizado el reporte	Realizado por la DGAAMI.
	Controlar la integridad de los arreglos para el archivo de datos de los organismos externos participantes en la elaboración del reporte.	Realizado por la DGAAMI.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a las Directrices del IPCC de 2006, Volumen 1, Capítulo 6, Cuadro 6.1, pp. 6.10 y 6.11 (sección 6.6)

Además de los procedimientos ya mencionados, para el RAGEI 2019 se realizaron procedimientos generales adicionales de control de calidad. En la siguiente tabla se describen dichos procedimientos y su estado.

Tabla 12. Procedimientos generales de control de calidad adicionales aplicados para el RAGEI 2019

Procedimiento IPCC	Procedimientos realizados por PRODUCE
Control de calidad de los factores de emisión por defecto	
Al utilizar factores de emisión por defecto del IPCC, es una buena práctica evaluar la aplicabilidad de estos factores a las circunstancias nacionales. Esta evaluación puede incluir el examen de las condiciones nacionales comparadas con el contexto de los estudios sobre los cuales se basaron los factores de emisión por defecto del IPCC. Si no hay información, esto debe ser considerado en el análisis de incertidumbre.	Para la producción de cemento (2A1) se adapta el factor de emisión por defecto utilizando los datos nacionales de contenido de CaO en el clínker, y el resultado promedio es muy cercano al valor por defecto, esto se actualiza en todos los años de la serie. En lo que corresponde a la producción de vidrio se utiliza la fracción de material reciclado en función a datos conocidos, en lugar de usar el valor por defecto. El valor obtenido fue cercano a lo que indica el IPCC para los países en desarrollo (de 0.4 a 0.6) donde la recuperación de objetos de vidrio en menos difundida.
Comparar los factores de emisión por defecto del IPCC con factores del nivel del sitio o de la planta, para determinar su representatividad respecto de las fuentes reales del país (aplica aunque solo estén disponibles datos para un pequeño porcentaje de sitios o plantas).	Se realizó el procedimiento en el caso de cemento, que es la única fuente estimada con información suficiente para usar factores de emisión de planta. En tal sentido, los valores se aproximaron mucho al valor por defecto del IPCC.
Control de calidad de la elaboración de factores de emisión nacionales	
Si los factores de emisión se basan en ensayos específicos del sitio o del nivel de la fuente, se debe controlar si el programa de medición incluyó los procedimientos de CC adecuados.	No se realizó este procedimiento. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Para uso de datos secundarios, tratar de determinar si las actividades de CC realizadas durante la elaboración original de los datos son coherentes con los procedimientos de CC y si se identificaron y documentaron las limitaciones de los datos secundarios.	Se incluye en las planillas de cálculo los procedimientos y fórmulas que se aplica a la información original y se agregan notas descriptivas complementarias sobre las conversiones.
Analizar si los datos fueron sometidos a la revisión de los pares y registrar el alcance de dicha revisión.	Se comparten los avances de los cálculos con el MINAM.
Investigar la existencia de posibles conflictos de interés.	No se realizó este procedimiento. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Comparar los factores específicos del país con los factores de emisión por defecto del IPCC pertinentes. Las diferencias sustanciales deben explicarse o determinar si es un problema de calidad de la información.	En el caso de la producción de cemento (2A1) el factor de emisión calculado es muy cercano al valor por defecto del IPCC.
Comparaciones de factores de emisión entre países (comparables), las cuales puede combinarse con tendencias históricas trazando, para diferentes países, el valor del año de referencia (p. ej. 1990), el valor del año más reciente y los valores mínimo y máximo.	No se realizó este procedimiento. Sin embargo, en el caso de la producción de cemento (2A1), que es el único factor de emisión nacional calculado, su valor es cercano al valor por defecto del IPCC, que a su vez basado en la experiencia de varios países.
Comparar los factores de emisión por defecto del IPCC con factores del nivel del sitio o de la planta, para determinar su representatividad respecto de las fuentes reales del país (aplica aunque no estén disponibles para todos los sitios o plantas).	Se realizó el procedimiento en el caso de cemento, que es la única fuente estimada con información suficiente para usar factores de emisión de planta. En tal sentido, los valores se aproximaron mucho al valor por defecto del IPCC.
Control de calidad de datos de actividad a un nivel nacional.	
Evaluar y documentar las actividades de CC asociadas al dato nacional, determinando si cumple con los procedimientos de CC general del inventario	Se realizan acciones de control de calidad de datos y se archivan los documentos de verificación de los datos nacionales y factores de conversión.

Procedimiento IPCC	Procedimientos realizados por PRODUCE
Siempre que sea posible, debe efectuarse un control de comparación de los datos de la actividad nacional con fuentes de datos de la actividad compilados en forma independiente. Ej. datos de estadística ganadera con estadísticas de FAO o consumos de combustible con los datos de Agencia Internacional de Energía (AIE).	No se realizó este procedimiento. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Comparaciones con muestras a nivel sub-nacional o a nivel de plantas. Deben ser representativas y que la técnica de extrapolación capture bien la población total analizada.	No se realizó este procedimiento. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.
Controlar de tendencia de los datos de la actividad. Dado que se suponen cambios relativamente coherentes año a año, todo cambio sustancial debe documentarse y de ser posible explicar la ausencia de errores.	No se realizó este procedimiento. Esta tarea no fue priorizada debido a que se tuvieron recursos limitados para el desarrollo del RAGEI 2019.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI - PRODUCE) en base a recomendaciones del IPCC (sección 6.7.1 del Volumen 1, Capítulo 6)

De la tabla anterior se concluye que, los dos motivos principales, de que algunas tareas de control de calidad no hayan sido realizadas, son: i) la tarea no fue priorizada en el marco del RAGEI 2019, debido a recursos limitados para su desarrollo; y ii) no se cuenta con personal especializado la tarea.

En general, los datos de actividad provienen de dos tipos de fuentes de información: (a) estadísticas nacionales administradas por entidades gubernamentales o (b) datos de plantas administrados por empresas privadas. En ambos casos, aunque no se han verificado sus procedimientos de medición, por ser información proveída oficialmente y/o publicada se han considerado confiables. Cabe indicar que, la información que se recopila de las empresas no es pública en su mayoría y se considera confidencial.

Para cada subcategoría se aplicaron procedimientos de control de calidad específicos que serán descritos más adelante en las secciones correspondientes.

Del proceso de control de la calidad se ha realizado la identificación de acciones de mejora para futuros RAGEI (en base a la revisión del equipo sectorial), las cuales se presentan en la sección 7 de “Sigüientes pasos” del presente informe. Asimismo, en la tabla de dicha sección se describe el nivel de avance de las acciones de mejora identificadas.

5.4.2. Garantía de la calidad

A la fecha del cierre del presente informe, el proceso de garantía de la calidad aún se encuentra en curso. El informe final de la garantía de la calidad que se genere incluiría recomendaciones de acciones urgentes, recomendaciones para el próximo ciclo del inventario y recomendaciones a largo plazo. Sin embargo, de manera anticipada, se han recibido las recomendaciones de acciones urgentes en GAUSS (2023), las cuales han sido atendidas e incorporadas en las últimas versiones de los documentos del presente RAGEI (informe y planillas), como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 13. Recomendaciones de acción urgente recibidas en el proceso de Garantía de la Calidad y las acciones llevadas a cabo por PRODUCE en el RAGEI PIUP 2019

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación de acciones urgentes del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
1	2A1: Producción de cemento	<p><u>Observación:</u> <i>“Perú estima la incertidumbre del factor de emisión para la producción de cemento, utilizando valores por defecto para: (1) el análisis químico del Clinker para determinar el CaO (correcto) (2) la hipótesis que el 100% del CaO proviene del CaCO₃ (correcto) (3) hipótesis que un 100% de la calcinación del carbonado destinado a formar el clinker; (4) la hipótesis por defecto de que las emisiones de CKD corresponden a un 2% de las emisiones relacionadas con la producción de Clinker (correcto). Esta última incertidumbre incluye todos los aspectos vinculados a la falta de conocimiento respecto del CKD, y por lo tanto no es necesario incluir: (a) ni que la de un 100% de calcinación; (b) ni que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda ni (c) que todos los carbonatos calcinados o restantes en el CKD son CaCO₃. Esos valores se utilizan si se estima el CKD con la Ecuación 2.5 de las Directrices IPCC 2006 (Vol. 3, Cap. 2, p.2.14). Con esta modificación la incertidumbre del factor de emisión pasa de 58,39% a 30,12%. Noten que este valor es casi el mismo que la incertidumbre propia de no tener valores de CKD (30%).”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Se recomienda corregir este error, estimando la incertidumbre del factor de emisión de cemento considerando sólo los ítems (1), (2), (3) y (4), pero excluyendo el (a), (b) y (c).”</i></p>	<p>En la evaluación de incertidumbre del factor de emisión de esta subcategoría se excluyó las asociadas a “Hipótesis de que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda”, a “Hipótesis de que todos los carbonatos (calcinados o restantes) en el CKD son CaCO₃” y a “Hipótesis de un 100 % de calcinación para el CKD”; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.</p>
2	2A1: Producción de cemento	<p><u>Observación:</u> <i>“En la Tabla: Resumen del uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal, del informe RAGEI PIUP se indica que el contenido de CaO en el clinker para toda la serie de tiempo es real pero también es calculado. Sin embargo, este valor fue el suministrado por las empresas, de manera que debiera figurar como real.”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Se recomiendo indicar en la Tabla: Resumen del uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal, del RAGEI PIUP que el contenido de CaO es solo real.”</i></p>	<p>Se realizó el cambio en la tabla “Resumen del uso de datos reales y calculados en la estimación de las emisiones de la serie temporal”¹⁴ indicando que el dato de contenido de CaO es real para todos los años evaluados.</p>

¹⁴ Sección “Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal”

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación de acciones urgentes del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
3	2A2: Producción de cal	<p><u>Observación:</u> <i>“Perú estima las incertidumbres asociadas a la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción de cal considerando: (1) para el dato de actividad, aplica la incertidumbre asociada a la corrección para la cal hidratada. Esto es incorrecto, hay una confusión en este punto: la corrección para la cal hidratada se refiere a la conversión de la cal con fuerte proporción de calcio y de la cal de dolomita en Ca(OH)₂ o en Ca(OH)₂·Mg(OH)₂. Las Directrices del IPCC 2006 indican (Vol. 3, Cap. 2, p. 2.28) que <<Si no se dispone de datos para el Nivel 1, es una buena práctica suponer que la producción de cal hidratada es nula>>. Perú, en línea con esta indicación de las Directrices IPCC 2006, no incluye un factor de corrección para la cal hidratada para estimar emisiones de CO₂, pero por alguna razón adoptó para la incertidumbre de los datos de actividad la indicada (5%) para esta corrección. Sin embargo, sabiendo que es típico de los datos de producción de las estadísticas no incluyan pequeños productores, así como la cal no comercial, las Directrices IPCC 2006 (Vol. 3, Cap. 2, p.2.29 cuadro 2.5) dejan en blanco este valor de incertidumbre, dejando que los países la definan en función de sus circunstancias nacionales.</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Reemplazar en el RAGEI PIUP la incertidumbre del dato de actividad (5%) por un valor que dé cuenta de las deficiencias del dato de actividad utilizado (por ejemplo, 20%).”</i></p>	<p>En la evaluación de incertidumbre del dato de actividad de esta subcategoría se excluyó la asociada a “Corrección de cal hidratada” y se incluyó un valor de ± 20 % de incertidumbre asociada a “Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal comercial”; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.</p>
4	2A2: Producción de cal	<p><u>Observación:</u> <i>“Para el factor de emisión, Perú estima de manera correcta las incertidumbres considerando el Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio y el Factor de emisión de la cal de dolomita. Sin embargo, aplica la fórmula de la suma de los cuadrados (incluido en las Directrices IPCC 2006, Vol. 1, Cap.3, Ec.3.1), que es incorrecta ya que hay una suma involucrada en la estimación (ecuación 2.28, Vol.3, Cap.2, p.2.25), y por lo tanto corresponde aplicar la Ec.3.2 del Vol1, Cap. 3, p.3.31.”</i> <i>“Para el factor de emisión Perú considera además la incertidumbre asociada a suponer un contenido promedio de CaO en la cal, sin embargo, esto ya está incluido en la incertidumbre de factor de emisión de cal con fuerte proporción de calcio, de manera que no hay que considerarlo.”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Reestimar la incertidumbre del factor de emisión, aplicando además de la Ec.3.21 del Vol. 1, Cap. 3, p.3.31, la Ec.3.21 del Vol1, Cap. 3, p.3.31, y sin considerar la incertidumbre de suponer un contenido promedio de CaO.”</i></p>	<p>En la evaluación de incertidumbre del factor de emisión esta subcategoría se corrigió la ecuación utilizada en anteriores RAGEI, pues la que corresponde es la ecuación para sumas y restas (Ecuación 3.2 del Vol. 1 del IPCC 2006). Lo cual actualiza el valor calculado para la incertidumbre del factor de emisión a ±1.73 %; dada la recomendación de acción urgente durante el proceso de Garantía de la Calidad. Esto actualiza la planilla de incertidumbre para futuros RAGEI.</p>

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación de acciones urgentes del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
5	2A4: Otros usos de carbonatos	<p><u>Observación:</u> <i>“Tanto para la producción de cerámicos como para el uso de ceniza de sosa, Perú estima las emisiones de manera correcta aplicando fórmulas donde suma o resta factores para estimar el dato de actividad final. Sin embargo, la incertidumbre asociada no refleja todas las variables involucradas en el cálculo, pero al mismo tiempo considera otras variables generales que en realidad no utiliza para la estimación.”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Indicar en el plan de mejoras que se van a tomar acciones para mejorar la estimación general de incertidumbres del sector PIUP”</i></p>	<p>Se incluyó en el plan de mejoras¹⁵ la recomendación de tomar acciones para mejorar la estimación general de incertidumbre del sector PIUP y revisar específicamente la incertidumbre de esta subcategoría.</p>
6	2C1: Producción de hierro y acero	<p><u>Observación¹⁶:</u> <i>“Según lo indicado en la planilla, Perú produce arrabio en un alto horno ubicado en una de las plantas. Sin embargo, en la estimación de la emisión correspondiente no se hace referencia a lo anterior, y entonces la emisión de esa producción es cero. Esto mismo se ve reflejado en el documento del inventario donde se indica que “toda esta información las empresas que respondieron a las solicitudes de información reportaron producción cero para el caso de hierro de alto horno”.</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes:</u> <i>“Estimar e incluir en el reporte las emisiones asociadas a la producción de arrabio en el alto horno de la planta referida.”</i></p>	<p>Se agregó al cálculo la estimación de las emisiones producidas por la producción de hierro de alto horno utilizando el factor de emisión de 1.35 que indica el IPCC (2006). Esto es coherente con el hecho de que el factor de emisión por defecto para el proceso EAF no considera esas emisiones pues asume que el 100 % de la carga metálica que utiliza es chatarra (IPCC 2006, Volumen 3, Capítulo 4, Cuadro 4.1), lo cual no sería el caso de esta planta. En este sentido, es pertinente esta corrección. Este ajuste actualizó también los resultados de las emisiones de esta subcategoría para el año 2016, asimismo, modifica la planilla para futuros RAGEI.</p>

¹⁵ Sección “Sigüientes pasos”

¹⁶ Esta observación fue modificada en su redacción, solo para mantener la confidencialidad de las empresas.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación de acciones urgentes del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
7	2G1: Equipos eléctricos	<p><u>Observación¹⁷:</u> <i>“Averiguar si el sector eléctrico ya tiene caracterizados estas emisiones (La mayor parte del SF₆ utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas y en los disyuntores a gas, aunque parte del SF₆ se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas y en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas). Si así fuera, incluir estas emisiones en el próximo ciclo del inventario.”</i></p> <p><i>“Investigar si existen otros usos de SF₆ y PFC (además de los que se utilizan en los equipos eléctricos), como, por ejemplo, en aceleradores de partículas en grupos de investigación o en las ventanas con vidrios insonorizados.”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes¹⁸:</u> <i>“Incluir en el plan de mejoras la estimación de las subcategorías 2G1 (equipos eléctricos) y 2G3 (N₂O de usos de productos), que seguro ocurren en Perú, en los próximos ciclos del inventario.”</i></p>	Se incluyó en el plan de mejoras ¹⁹ la recomendación de evaluar la estimación de la subcategoría 2G1 (equipos eléctricos) para su inclusión en próximos ciclos del inventarios.
8	2G3: N₂O de usos de productos	<p><u>Observación²⁰:</u> <i>“Implementar un modelo de estimación de N₂O en aplicaciones médicas, utilizando como variable indicativa, el número de camas ocupadas en los hospitales.”</i></p> <p><u>Recomendación de acciones urgentes²¹:</u> <i>“Incluir en el plan de mejoras la estimación de las subcategorías 2G1 (equipos eléctricos) y 2G3 (N₂O de usos de productos), que seguro ocurren en Perú, en los próximos ciclos del inventario.”</i></p>	Se incluyó en el plan de mejoras ²² la recomendación de evaluar la estimación de la subcategoría 2G3 (N ₂ O de usos de productos) para su inclusión en próximos ciclos del inventarios.

¹⁷ Debido a que, esta tabla procura citar textualmente las observaciones y recomendaciones en GAUSS (2023) y no en el informe final completo del proceso de garantía de la calidad (que se encuentra en desarrollo), puede ocurrir algunos errores de forma, en este caso, por ejemplo, las observaciones y recomendaciones fueron reordenadas para comprender mejor las acciones a llevar a cabo como respuesta.

¹⁸ Debido a que, esta tabla procura citar textualmente las observaciones y recomendaciones en GAUSS (2023) y no en el informe final completo del proceso de garantía de la calidad (que se encuentra en desarrollo), puede ocurrir algunos errores de forma, en este caso, por ejemplo, las observaciones y recomendaciones fueron reordenadas para comprender mejor las acciones a llevar a cabo como respuesta.

¹⁹ Sección “Sigüientes pasos”

²⁰ Debido a que, esta tabla procura citar textualmente las observaciones y recomendaciones en GAUSS (2023) y no en el informe final completo del proceso de garantía de la calidad (que se encuentra en desarrollo), puede ocurrir algunos errores de forma, en este caso, por ejemplo, las observaciones y recomendaciones fueron reordenadas para comprender mejor las acciones a llevar a cabo como respuesta.

²¹ Debido a que, esta tabla procura citar textualmente las observaciones y recomendaciones en GAUSS (2023) y no en el informe final completo del proceso de garantía de la calidad (que se encuentra en desarrollo), puede ocurrir algunos errores de forma, en este caso, por ejemplo, las observaciones y recomendaciones fueron reordenadas para comprender mejor las acciones a llevar a cabo como respuesta.

²² Sección “Sigüientes pasos”

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación de acciones urgentes del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)	Acciones llevadas a cabo por PRODUCE en RAGEI PIUP 2019
9	Cuestiones transversales	<p><u>Observación:</u> <i>“El Ente a cargo de la producción del inventario del sector PIUP para la Industria de los Minerales, la Industria Química y la Industria de los metales es el PRODUCE, el Ministerio de la Producción del Perú. Ese mismo Ente es el encargado de preparar el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero. Sin embargo, en ese informe no se especifica quién estará a cargo de las categorías 2D, 2E, 2G y 2H. Esto es significativo, porque son todas las categorías no estimadas por Perú, de manera que es necesario definir claramente la entidad que estará a cargo de esas categorías.”</i></p>	<p>El PRODUCE es el encargado de reportar el RAGEI del sector PIUP, sin embargo, según la guía del MINAM (Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM) el alcance establecido solo incluye “industria de los minerales”, “industria química” e “industria de metales”. Si bien se ha priorizado las mejoras en estas categorías, a la medida que se va fortaleciendo capacidades e incrementando el conocimiento sobre las metodologías y la información disponible, se busca incrementar el alcance del RAGEI PIUP. Es por eso por lo que se ha agregado este año un primer cálculo de la categoría 2F y se planea incluir en futuros RAGEI nuevas categorías progresivamente considerando las circunstancias sectoriales. En paralelo, se sugiere que el MINAM actualice el alcance de la guía referida. Asimismo, se incluyó la evaluación de este aspecto en el plan de mejoras.</p>
10	Cuestiones transversales	<p><u>Observación:</u> <i>“Perú no aplica adecuadamente las claves de notación en el sector PIUP, ya que reporta como NE todas las categorías que no ha estimado, sin diferenciar si no se estimaron porque No Ocurren (NO) o porque No son Aplicables (NA) (Tabla: Cuadro resumen por categorías – Emisiones de GEI, 2019 - Sector Procesos Industriales y Uso de Productos, del informe RAGEI PIUP).”</i></p>	<p>De acuerdo con lo explicado por la experta revisora del RAGEI PIUP 2019, se modificó la notación para la subcategoría “producción de amoníaco” de NO a NA en las tablas respectivas de la sección de análisis de resultados del informe. Esto debido a que la experta indicó que la notación correcta es NA cuando una actividad ocurre, pero no genera emisiones. Sin embargo, se incluye en el plan de mejoras continuar la discusión en conjunto con el MINAM para estandarizar la interpretación de las notaciones.</p>

6. RESULTADOS POR CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS

6.1 Categoría 2A: Industria de los minerales

6.1.1 Subcategoría 2A1: Producción de cemento

La subcategoría 2A1, se define como las emisiones vinculadas a procesos de la producción de diversos tipos de cemento (IPCC, 2006)²³. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría.

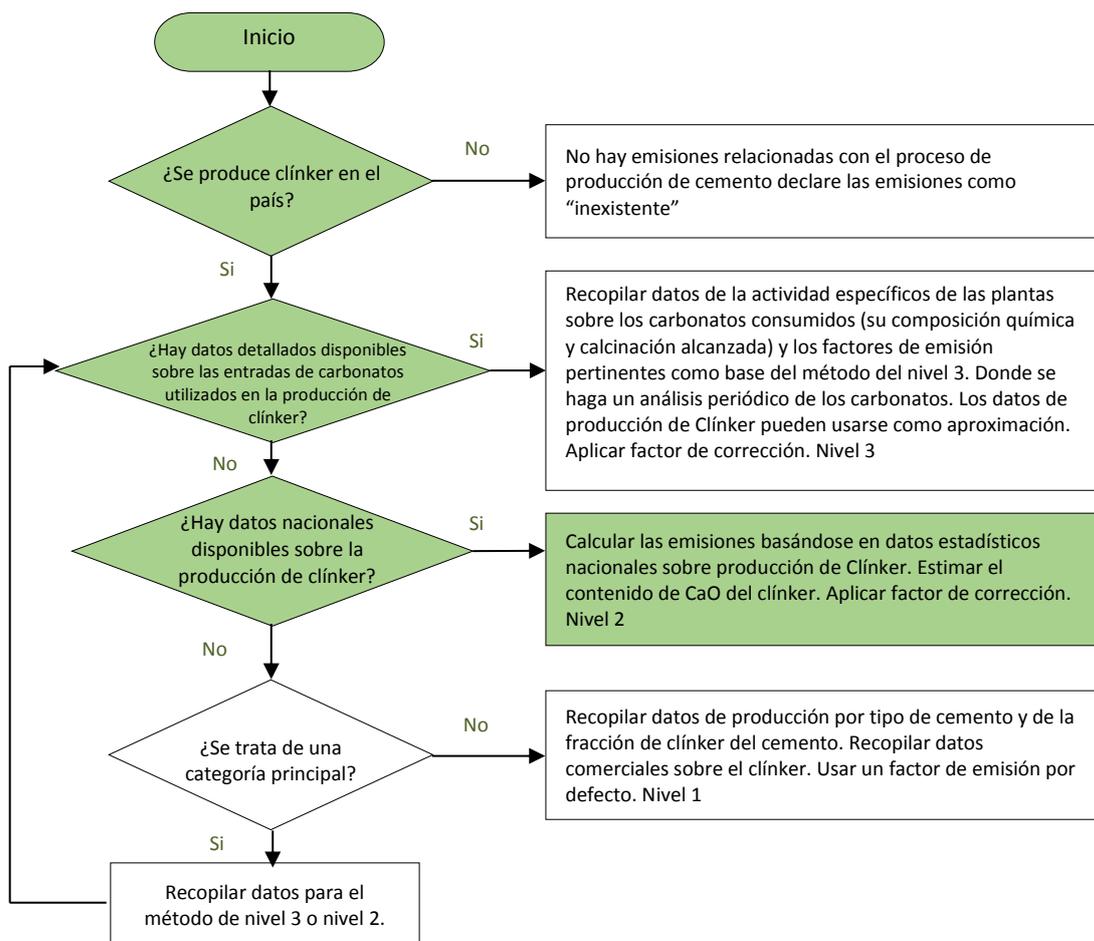
El CO₂ se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de gránulos o pequeñas bolas, que luego se somete a una molturación fina juntamente con una pequeña proporción de sulfato de calcio [yeso o anhídrido], para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados. El CaO reacciona entonces con la sílice (SiO₂), la alúmina (Al₂O₃), y el óxido de hierro (Fe₂O₃) presentes en las materias primas, para formar minerales de clínker (principalmente silicatos de calcio).

6.1.1.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 2 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

²³ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Figura 6. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Cemento



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 2, Capítulo 2, p. 2.10

A nivel nacional no existen datos disponibles sobre entradas de carbonatos utilizados en la producción de clínker. Considerando que es una categoría principal, la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar para el presente RAGEI, datos de producción de clínker y de contenido de óxido de calcio en el clínker. De acuerdo al árbol de decisión, se realizó la recopilación de información que permite la aplicación del nivel 2 de cálculo, descrito en la siguiente tabla.

Tabla 14. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Cemento

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2A1	Producción de cemento	Masa de clínker producido, toneladas	Producción de clínker	2
			Contenido de óxido de calcio en el clínker	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Si bien, esta subcategoría es la más representativa del sector PIUP, se ha mantenido la estimación en el nivel 2, con respecto al RAGEI PIUP 2016, debido a limitaciones en recursos y tiempo y a que aún hace falta fortalecer capacidades. Asimismo, el nivel 3 implica recopilar información de planta sobre todas las entradas de material carbonatado (tipos, composiciones y cantidades) y balances de masa rigurosos, y por tanto requiere un mayor esfuerzo de las empresas que reportan y al momento, el reporte de las empresas se mantiene voluntario.

La Ecuación 2 describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 2.

Ecuación 1. Emisiones de CO₂, Nivel 2 - Subcategoría Producción de Cemento

NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER
Emisiones de CO₂ = $M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd}$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

M_{cl} = peso (masa) de clínker²⁴ producido, toneladas.

EF_{cl} = factor de emisión para el clínker, toneladas de CO₂/toneladas de clínker.

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el polvo de horno de cemento (CKD, por sus siglas en inglés), sin dimensión.

Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.10. Ecuación 2.2

Las emisiones se estiman con la siguiente ecuación adaptada para considerar el factor de emisión con corrección de CKD.

Ecuación 2. Emisiones de CO₂, Nivel 2 (ecuación adaptada) - Subcategoría Producción de Cemento

NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER
Emisiones de CO₂ =
 $M_{cl} \times \text{Factor de emisión de CO}_2 \text{ para la producción de clínker (con corrección CKD)}$

Donde:

M_{cl} = peso (masa) de clínker producido, toneladas

Fuente: Adaptado de Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.10. Ecuación 2.2

Como buena práctica sugerida por Directrices del IPPC de 2006, no se considera el proceso de carbonización por el cual la cal libre (CaO) reabsorbe CO₂ atmosférico.

6.1.1.2 Datos de actividad

La información referida a los datos de actividad fue proporcionada por las propias empresas cementeras que producen clínker en el país. Para solicitar la información requerida, se utilizó la identificación de las principales empresas del RAGEI PIUP 2014²⁵. Sobre dicha lista, se indagó con la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del PRODUCE respecto a nuevos proyectos que hubieran entrado en operación en los años posteriores al 2014, añadiéndose una nueva planta para el presente RAGEI.

Las empresas de cemento consideradas para la estimación en el RAGEI, representaron más del 98 % de las ventas del año 2015 que registra la SUNAT, para la fabricación de cemento, cal y yeso (CIU 2694 de la tercera revisión)²⁶.

²⁴ En las Directrices del IPPC de 2006 dice cal en lugar de clínker, pero se refiere a este último, por lo que se corrige para una mejor comprensión.

²⁵ Cuya fuente de información fue la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - SUNAT. (2015). *Directorio de empresas 2015 de la SUNAT (Registro Único de Contribuyentes)*. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria.

²⁶ La fuente es: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. (2015). *Directorio de empresas 2015 de la SUNAT (Registro Único de Contribuyentes)*. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria

Para el caso de la masa de clínker producido (Mcl), se obtuvo de la sumatoria de las producciones de clínker de las empresas comprendidas. El valor resultante es igual a 9,125,510.21 toneladas de clínker producido en el año 2019. Asimismo, las empresas también reportaron el contenido de óxido de calcio en el clínker, por lo que se calculó un promedio nacional ponderado de acuerdo con las producciones de cada empresa, dando un resultado de 65.21 % de óxido de calcio en el clínker²⁷ (ver siguiente tabla). Este porcentaje se utiliza para adaptar el factor de emisión por defecto como se describe en la ecuación anterior (ecuación adaptada).

Cabe indicar que, el reporte de las empresas se mantiene en confidencialidad y forma parte de los documentos de soporte del RAGEI 2019.

Tabla 15. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Cemento

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2A1	Producción de cemento	Masa de clínker producido (M _{cl})	Producción de clínker	9,125,510.21	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
			Contenido de óxido de calcio en el clínker	65.21	porcentaje (%)	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.1.3 Factores de emisión y conversión

Para el RAGEI 2019, el factor de emisión utilizado fue calculado considerando el dato nacional de contenido de óxido de calcio en el clínker²⁸, corrigiéndolo para considerar las emisiones de polvo de horno de cemento. Este cálculo se describe en la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Ecuación de factor de emisión de CO₂ calculado para la producción de clínker²⁹, Nivel 2 - Subcategoría Producción de Cemento

Factor de emisión calculado de CO₂ para la producción de clínker (con corrección CKD) =
 (Participación del CaO en los productos de la calcinación del CaCO₃) ÷ (Participación del CO₂ en los productos de la calcinación del CaCO₃) x (Contenido de CaO en el clínker) x CF_{ckd}

Donde:

Participación del CaO en los productos de la calcinación del CaCO₃, valor por defecto = 43.97% (porcentaje en peso)

Participación del CO₂ en los productos de la calcinación del CaCO₃, valor por defecto = 56.03% (porcentaje en peso)

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el polvo de horno de cemento, valor por defecto = 1.02

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.13.

Como resultado de la aplicación de dicha ecuación, se obtiene un factor de emisión de CO₂ para la producción de clínker (con corrección de CKD) igual a 0.5220 toneladas de CO₂ / toneladas de clínker producido. El valor por defecto del factor de emisión del CO₂ para la

²⁷ El valor por defecto de las Directrices del IPPC de 2006 es de 65 %.

²⁸ Si bien la diferencia entre el dato calculado y el por defecto es mínima, es importante mantener la metodología ya que se aplica en la actualización de toda la serie de tiempo, y en algunos casos la diferencia puede ser más significativa.

²⁹ El factor de emisión calculado considera la corrección de las emisiones de polvo de horno de cemento como se puede deducir de la ecuación de "Factor de emisión de CO₂ calculado para la producción de clínker, Nivel 2 - Subcategoría Producción de Cemento".

producción de Clinker es 0.5203 toneladas de CO₂ / toneladas de clínker; la diferencia entre ambos no es significativa.

En la siguiente tabla se muestra el factor de emisión calculado y la información utilizada en dicho cálculo.

Tabla 16. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Cemento

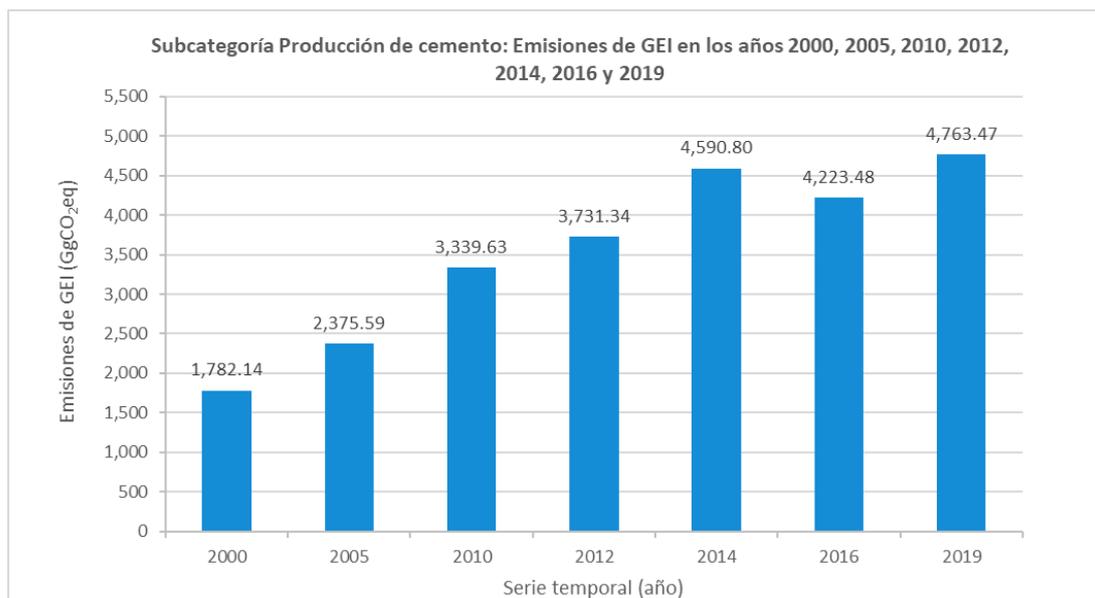
Dato	Valor	Unidad	Calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión de CO ₂ para la producción de clínker	0.5220	toneladas de CO ₂ / toneladas de clínker producido	C	Resultado del cálculo de la Ecuación de "Factor de emisión de CO ₂ calculado para la producción de clínker, Nivel 2 - Subcategoría Producción de Cemento". Fuente: Planilla de cálculo RAGEI PIUP 2019, pestaña FE 2A1.
Participación del CO ₂ en los productos de la calcinación del CaCO ₃	56.03	porcentaje (%)	D	Proporción en peso de la participación de CO ₂ en los productos resultantes (CO ₂ y CaO) de la calcinación de CaCO ₃ . Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.13
Participación del CaO en los productos de la calcinación del CaCO ₃	43.97	porcentaje (%)	D	Proporción en peso de la participación de CaO en los productos resultantes (CO ₂ y CaO) de la calcinación de CaCO ₃ . Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.13
Factor corrector de emisiones para el polvo de horno	1.02	Adimensional (relación)	D	Aplica a nivel 2 como valor por defecto, al desconocerse la cantidad de polvo de clínker no considerado en la masa total. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 2.13
Contenido de óxido de calcio en el clínker – promedio nacional	65.21	porcentaje (%)	C	Aplica el factor de emisión de CO ₂ del clínker, es necesario conocerlo para adaptar el factor de emisión por defecto. Fuente: Directrices del IPPC de 2006 Vol. 3, p. 2.13

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.1.4 Análisis de resultados

Las emisiones estimadas de CO₂ de la producción de cemento alcanzan el valor de 4,763.47 Gg de CO₂ para el año 2019. Se aprecia un aumento de 13.00 % en relación con el año 2016. Como se aprecia en la siguiente figura. En el periodo del año 2000 al año 2019, la tendencia ascendente promedio es predominantemente ascendente (con un crecimiento anual promedio de 9 %), con excepción en el valor del año 2016. Esto, se debe a que para dicho año la producción de clínker decreció.

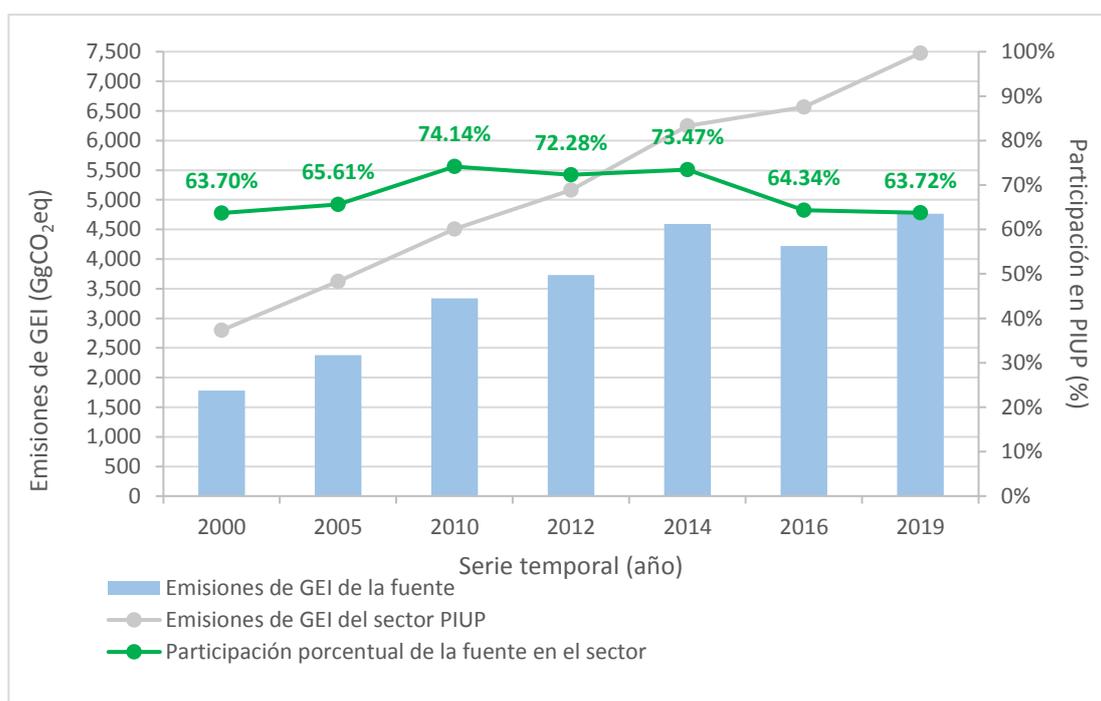
Figura 7. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cemento



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La subcategoría de producción de cemento es la más importante del sector PIUP siendo la de mayor participación en las emisiones del sector en todos los años evaluados. La participación en las emisiones del sector ha oscilado de 63.70 % en el año 2000 a 63.72 % en el 2019, teniendo un pico de hasta 74.14 % en el año 2010 (ver siguiente figura). Es posible que esto se deba a que a la medida que pasan los años las estimaciones del RAGEI se vuelven más completas y al crecimiento de otros rubros industriales.

Figura 8. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cemento



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.1.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión por defecto se le atribuye una incertidumbre de $\pm 30.12\%$ asociada a las hipótesis de Nivel 2 que aplican a la estimación realizada las cuales se señalan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Cemento

Incertidumbre	Descripción	Nivel
Análisis químico/Composición		
1-2%	Análisis químico del clínker para determinar el CaO	2
1-3%	Hipótesis de que el 100% del CaO proviene del CaCO ₃ (la incertidumbre es mayor si se utilizan escorias o cenizas volantes que no se contabilizan)	2
1%	Hipótesis de un 100% de calcinación del carbonato destinado a formar el clínker	2, 3
CKD		
25-35%	Hipótesis por defecto de que las emisiones del CKD corresponden a un 2% de las emisiones relacionadas con la producción del clínker. Esta incertidumbre presupone que un 33% a un 50% del clínker no se recicla. En ausencia de reciclado o si el porcentaje de calcinación excede significativamente el 50%, la incertidumbre puede llegar a un 50% o más.	No específica

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, Cuadro 2.5, pp. 2.19-2.20

Al dato de actividad se le ha asignado una incertidumbre igual a $\pm 1.5\%$ que es el valor medio del rango de incertidumbres de la hipótesis que supone una declaración completa en el pesaje o cálculo de la producción de clínker tal como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 18. Hipótesis y valor de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Cemento

Incertidumbre	Descripción	Nivel
Datos de producción		
1-2%	Pesaje o cálculo de la producción de clínker; supone una declaración completa	2

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, Cuadro 2.5, pp. 2.19-2.20

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 30.16\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.13\%$ (ver siguiente tabla).

Tabla 19. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Cemento

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR						
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	E	F	G	M
			Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %
2	Procesos Industriales y uso de productos					
2A	Industria de los minerales					
2A1	Producción de Cemento	CO ₂	1.50%	30.12%	± 30.16%	± 0.13%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.1.1.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016, actualizaron los valores calculados en el RAGEI PIUP 2016 en los años 2000, 2010, y 2016. Esto debido a que se actualizaron los datos nacionales incorporando reportes más exhaustivos de las empresas. La siguiente tabla describe los cambios en los datos nacionales.

Tabla 20. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Producción de Cemento

N°	Descripción de la actualización	Años que actualiza
1	Se incrementó la información sobre el nivel de actividad de producción de cemento a partir de la recopilación de información de las empresas en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2000, 2012 y 2016
2	Se recalculó el factor de emisión nacional teniendo en consideración la información complementaria recopilada en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2000, 2012 y 2016

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Tabla 21. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Cemento

Año actualizado	Emisiones en versión anterior (Gg CO ₂ eq)	Emisiones en versión anterior (Gg CO ₂ eq)	Variación
2016	1777.66	1,782.14	0.25%
2014	2375.59	2,375.59	0.00%
2012	3339.80	3,339.63	-0.01%
2010	3731.34	3,731.34	0.00%
2005	4590.80	4,590.80	0.00%
2000	4223.75	4,223.48	-0.01%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Las estimaciones de la serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

En tal sentido, cuando no se tuvo información específica sobre contenido de óxido de calcio en todas las empresas se utilizó el valor promedio calculado con la información reportada del año correspondiente. Asimismo, se utilizó información reportada en el INGEI 2012 (MINAM, 2015) para complementar la información e incluir el mayor número de empresas posibles.

6.1.1.7 Control de calidad y Garantía de calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 22. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Cemento

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Revisión de los factores de emisión</p> <p>Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión nacionales agregados con los factores por defecto del IPPC para determinar si el factor nacional es razonable respecto del factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.</p> <p>Si se utiliza el método agregado «de arriba hacia abajo», pero se dispone de algunos datos limitados específicos para las plantas, los compiladores del inventario deben comparar los factores al nivel de planta o de instalación con el factor agregado empleado para la estimación nacional. Esto indica si los datos son razonables y representativos.</p>	<p>Se adaptó el factor de emisión por defecto utilizando los datos nacionales de contenido de CaO en el clínker, y el resultado promedio es muy cercano al valor por defecto, se podría validar el factor por defecto ya que las diferencias en el cálculo de emisiones son mínimas.</p>
<p>Verificación de los datos de actividad específicos de las instalaciones</p> <p>Para los datos específicos de las instalaciones, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre las instalaciones para establecer si ello refleja la presencia de errores, de diferentes técnicas de medición, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operativas o en las tecnologías. Para la producción de cemento, los compiladores del inventario deben comparar los datos de la planta (contenido de CaO del clínker, contenido de clínker en el cemento) con los de otras plantas del país.</p> <p>Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces debe evaluarse cuidadosamente la utilización de estas emisiones o datos de actividad, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Si se observa un estándar elevado en las mediciones y la GC/CC se aplica en la mayoría de las instalaciones, se puede revisar hacia abajo la incertidumbre de las estimaciones de emisiones.</p>	<p>Se verificó los datos de actividad en relación a los datos entre plantas y entre años para identificar valores incoherentes. No se evaluaron las condiciones tecnológicas ni operativas de las plantas.</p>

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Exhaustividad</p> <p>También se debe considerar la eventualidad del cómputo doble. Por ejemplo, los compiladores del inventario deben revisar las estadísticas utilizadas para estimar las emisiones de las categorías de fuente «Otros usos de carbonatos en los procesos» para garantizar que las emisiones declaradas en esa categoría de fuente no resulten del uso de esos carbonatos en la producción de cemento. Allí donde los carbonatos se emplean para la producción de cemento, la emisión debe declararse bajo Producción de cemento. Por último, los compiladores del inventario deben incluir en esta categoría de fuente sólo las emisiones relacionadas con el proceso de producción de cemento. Para evitar el cómputo doble, es una <i>buena práctica</i> justificar las emisiones relacionadas con la combustión en el volumen Energía.</p>	<p>La información utilizada (producción de clínker) para estimar las emisiones de producción de cemento no son reportadas en las estadísticas nacionales como producción de cal (otros carbonatos)</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.21

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.1.2 Subcategoría 2A2: Producción de cal

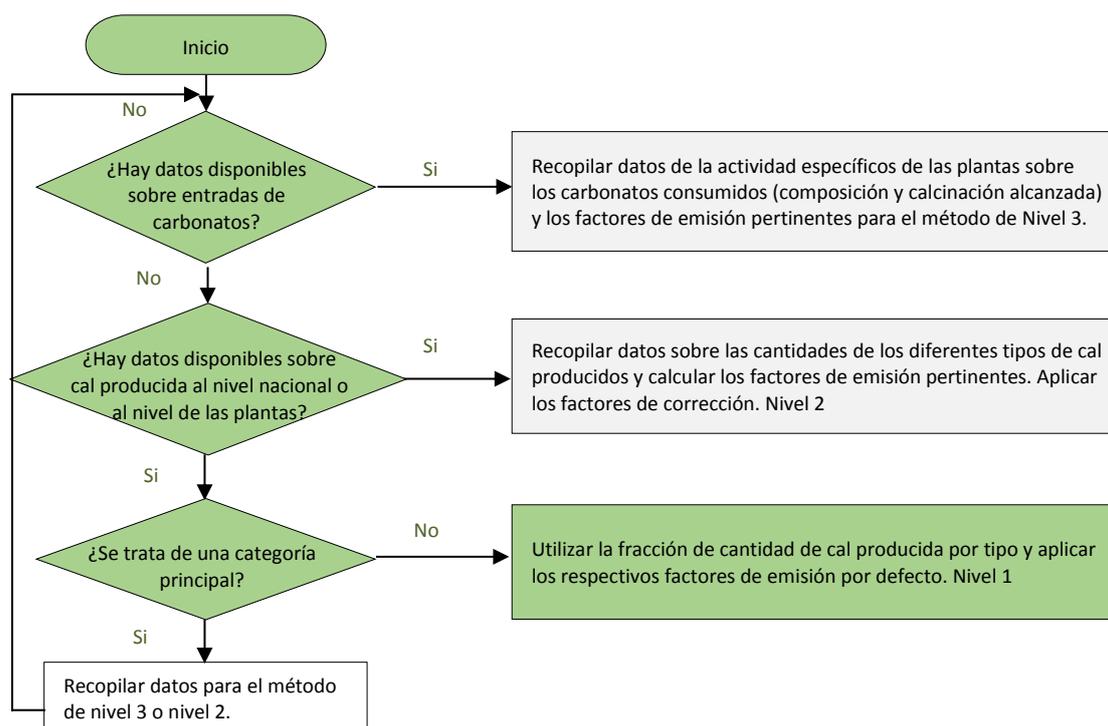
La subcategoría 2A2 se define como las emisiones vinculadas a procesos de la producción de diversos tipos de cal (IPCC, 2006)³⁰. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría.

6.1.2.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

³⁰ Directrices del IPPC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Figura 9. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Cal



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.23

A nivel nacional no existen datos disponibles sobre entradas de carbonatos ni datos disponibles sobre cal producida al nivel nacional o al nivel de las plantas que permitan determinar de forma confiable las cantidades de los diferentes tipos de cal producidos y calcular los factores de emisión pertinentes. De acuerdo con el INGEI de Perú del año 2016 (MINAM, 2021), la producción de cal no es una categoría principal, en este caso, la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar, la fracción de cantidad de cal producida por tipo y los respectivos factores de emisión por defecto que equivale a un método Nivel 1 que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 23. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Cal

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2A2	Producción de cal	Producción de cal por tipo de cal (cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita), toneladas	Producción de cal	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1, que implica la multiplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. Aunque es preferible tener información por tipo de cal, esto no es necesario para aplicar el nivel 1. Tampoco es necesario reportar y contabilizar el polvo de horno de cal, LKD por sus siglas en inglés.

Ecuación 4. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Cal

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{EF}_{\text{cal}} \times \text{M}_{\text{cal}}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

M_{cal} = peso (masa) de cal producida, toneladas

EF_{cal} = factor de emisión para la cal, toneladas de CO₂/toneladas de cal

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.24. Ecuación 2.6

Cabe indicar que, según lo reportado por el MINAM y los revisores en el marco del proceso de la garantía de la calidad del INGEI 2019, esta subcategoría está siendo clasificada como categoría principal. Sin embargo, esto es una clasificación de una evaluación reciente y paralela al desarrollo del presente RAGEI, por lo que esta subcategoría ha sido considerada como principal en este informe. Aun así, se ha incluido en la sección 7 de “siguientes pasos”, la evaluación de esta subcategoría para pasar a un nivel 2.

6.1.2.2 Datos de actividad

La fuente de información referida al dato de actividad se obtuvo a partir de información de la producción de cal que reporta la Oficina General de Estudios Económicos y Evaluación de Impacto (OGEIEE) del PRODUCE, la cual suele publicarse en sus Anuarios Estadísticos.

Este valor, corresponde a las principales empresas manufactureras que reportan en la encuesta de Estadística Industrial Mensual y que representan en promedio el 80 % del Valor Bruto de Producción de 93 clases industriales³¹. La muestra de establecimientos fue definida por el PRODUCE en el año 2007 y no ha sufrido modificaciones. Este valor, así como los de las demás líneas de producción correspondientes a las clases industriales son publicadas en los anuarios estadísticos del PRODUCE y se registran también en las series nacionales del INEI. La encuesta de Estadística Industrial Mensual es ejecutada por la OGEIEE del PRODUCE.

De acuerdo con el IPCC en las Directrices del IPCC de 2006, es típico que la producción declarada dé cuenta sólo de una parte de la producción real, pues las estadísticas sobre la producción de cal pueden considerar sólo los productos vendidos en el mercado (formales). Asimismo, es posible que ni el uso ni la producción de cal como producto intermedio no comercial sean debidamente contabilizados ni declarados. El valor del dato nacional para el año 2019 se describe en la siguiente tabla.

³¹ Esta información fue brindada por los representantes de la Dirección de Estudios Económicos de MYPE e Industria (DEMI) de la Dirección General de Estudios Económicos, Evaluación y Competitividad Territorial (DIGECOMTE), en el marco del levantamiento de información del RAGEI 2014.

Tabla 24. Descripción del nivel de actividad y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Cal

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2A2	Producción de cal	Producción de cal	Producción de cal	1,004,180.00	tonelada (t)	Anuario Estadístico (PRODUCE, 2020)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.2.3 Factores de emisión y conversión

El factor de emisión utilizado fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación utilizando los valores medios de los factores por defecto que señalan las Directrices del IPPC de 2006 para la cal con fuerte proporción de calcio y para la cal de dolomita. Como resultado se obtuvo un valor para EF_{cal} de 0.753 toneladas de CO₂/toneladas de cal.

Ecuación 5. Factor de emisión de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Cal

NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL	
$EF_{cal} = 0.85 \times EF_{cal \text{ con fuerte proporción de calcio}} + 0.15 \times EF_{cal \text{ de dolomita}}$	
Donde:	
EF _{cal} = factor de emisión para la cal, toneladas de CO ₂ /toneladas de cal	
EF _{cal con fuerte proporción de calcio} = Factor de emisión por defecto para cal con fuerte proporción de calcio, toneladas de CO ₂ /toneladas de cal	
EF _{cal de dolomita} = Factor de emisión por defecto para cal de dolomita, toneladas de CO ₂ /toneladas de cal	

Fuente: Adaptado de Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.25, Ecuación 2.8

La siguiente tabla describe la información del factor de emisión utilizado.

Tabla 25. Factores de emisión y conversión utilizados - Subcategoría Producción de Cal

Dato	Valor	Unidad	Calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la producción de cal	0.753	toneladas de CO ₂ / toneladas de cal producida	D	Calculado en base a los valores por defecto para una cal (85 % con fuerte proporción de calcio y 15 % de dolomita), eligiendo el valor más bajo para la cal de dolomita. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, pp. 2.25 y 2.26
Proporción de la producción de la cal con fuerte contenido de calcio y la cal de dolomita	85 / 15	% cal con fuerte contenido de calcio / % cal de dolomita	D	Al desconocerse los tipos de cal y su composición, se considera esta proporción por defecto para elegir el factor de emisión. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, p. 2.25

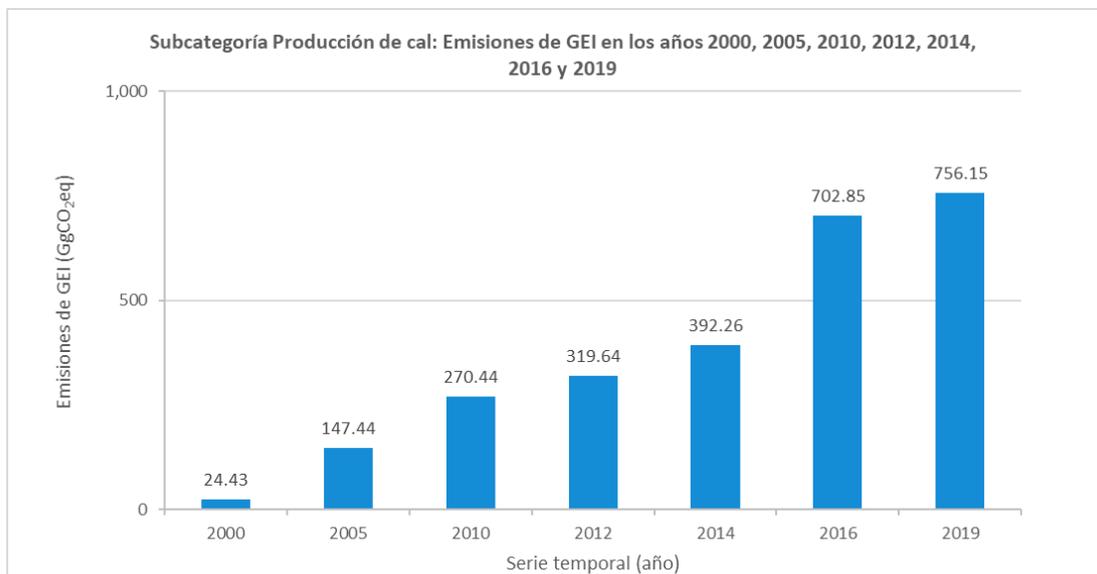
Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.2.4 Análisis de resultados

Las emisiones estimadas de CO₂ de la producción de cal alcanzan el valor de 756.15 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Se aprecia un incremento del 8 % en relación con el año 2016 y de 2,995 % en relación con el año 2000. En todo el periodo se mantiene una tendencia ascendente con

un crecimiento anual promedio de 158 %. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

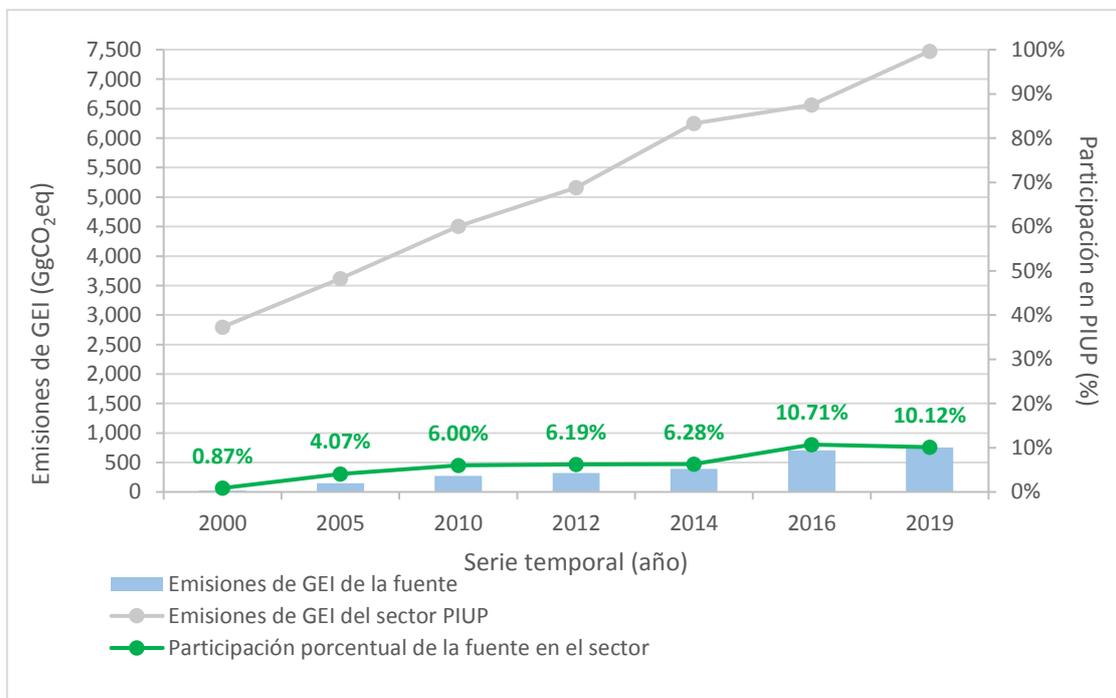
Figura 10. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cal



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Al igual que las emisiones de la subcategoría de producción, su participación ha ascendido de 0.87 % en el año 2000 a 10.12 % en el año 2019 (ver siguiente figura).

Figura 11. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Cal



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.2.5 Análisis de incertidumbre

Según EPA, dicho valor debe ser calculado mediante la raíz de la suma de cuadrados y no del promedio simple. Además, ya no se considera la hipótesis relacionada al factor de emisión para otros tipos de cal, debido a que los factores de emisión considerados se refieren específicamente a la cal con fuerte proporción de calcio y cal dolomita. Por lo cual no se requiere considerar la mencionada hipótesis. Cabe indicar que esta mejora fue consultada previamente con EPA, antes de ser incluida en la planilla de cálculo.

Al factor de emisión por defecto utilizado en la estimación se le atribuye una incertidumbre de ± 1.73 % asociada al uso del factor de emisión para cal con fuerte proporción de calcio y para la cal de dolomita, dicho valor se obtuvo a partir de una combinación ya que ambas se consideran a la vez (ver siguiente tabla). Cabe indicar que, no se considera la hipótesis "Incertidumbre del factor de emisión para otros tipos de cal"³², debido a que el factor de emisión utilizado está en función a los tipos de cal ya considerados en las hipótesis de la siguiente tabla. Por lo que, no se hace necesario considerar la incertidumbre de una hipótesis para cal en general. Esta mejora se realizó en el marco del RAGEI 2016 y contó con el visto bueno de la EPA antes de ser incluida en la planilla de cálculo, al igual que el uso de la combinación para el cálculo de esta, en lugar de promedio simple. Además, se aplicó la Ecuación 3.2 del Capítulo 3, Volumen 1 de IPCC (2006), que corresponde a la combinación de incertidumbres cuando hay suma de variables, esta mejora corresponde en lo recomendado en GAUSS (2023).

Tabla 26. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Cal

Incertidumbre	Descripción	Nivel
2 %	Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio	1, 2
2 %	Factor de emisión de la cal de dolomita	1, 2

Fuente: Elaboración propia en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.29

Se ha asignado un valor de ± 20.00 % a la incertidumbre asociada al dato de actividad, que correspondería a los posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal comercial. La siguiente tabla presenta lo indicado por el IPCC (2006) para este parámetro, donde no se asigna ningún valor por defecto, sin embargo, indica también que es decisión del país asignarle un valor.

Tabla 27. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Cal

Incertidumbre	Descripción	Nivel
	Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal no comercial	1, 2

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, Cuadro 2.4, p. 2.29

³² Se había considerado en el RAGEI 2014, y en el RAGEI 2016 se corrigió.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta subcategoría es igual a $\pm 20.07\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.58\%$ (ver siguiente tabla). Cabe indicar que, si se conocieran las tecnologías, se podría esperar una reducción de la incertidumbre a través de una evaluación experta.

Tabla 28. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Cal

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR							
A		B	E	F	G	M	
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales	
			Datos de entrada %	Datos de entrada %		$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %
2 Procesos Industriales y uso de productos							
2A		Industria de los minerales					
	2A2	Producción de Cal	CO ₂	20.00%	1.73%	20.07%	$\pm 0.58\%$

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.1.2.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Las estimaciones de lo serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

Para los años 2005 y 2010 no se tienen datos nacionales reportados, pero se aplicó el método de interpolación usando las series de datos de las fuentes mencionadas.

6.1.2.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPCC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 29. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Cal

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes métodos</p> <p>Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas según el método de Nivel 2, basado en la producción de cal, y el método de Nivel 3, basado en las entradas de carbonatos. De manera similar, si para estimar las emisiones se usa el método «de abajo hacia arriba» (es decir, recolección de datos específicos para las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante datos nacionales o específicos de la planta para la producción de cal (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 o Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera como una buena práctica estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados derivados del empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento, dado que solo se cuenta con información de estadísticas nacionales y no se realizó recopilación de información a nivel de plantas que permita estimar con métodos superiores al nivel 1 aplicado.</p>
<p>Verificación de los datos de actividad específicos de las instalaciones</p> <p>Los compiladores del inventario deben confirmar las definiciones correctas de los diferentes tipos de cal producidos en el país. Los compiladores del inventario deben también considerar cuidadosamente las industrias que puedan producir cal no comercial, de modo que garanticen que estos datos han sido incluidos en los datos de actividad para el inventario.</p>	<p>No se obtuvo información de tipos de cal ni de producción de cal no comercial. Sin embargo, se investigó sobre otras posibles fuentes de información como los registros de insumos químicos fiscalizados (SUNAT). Esta fuente puede ser usada a futuro como mejora, pero al momento solo se disponen de datos desde el año 2014.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.30

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.1.3 Subcategoría 2A3: Producción de vidrio

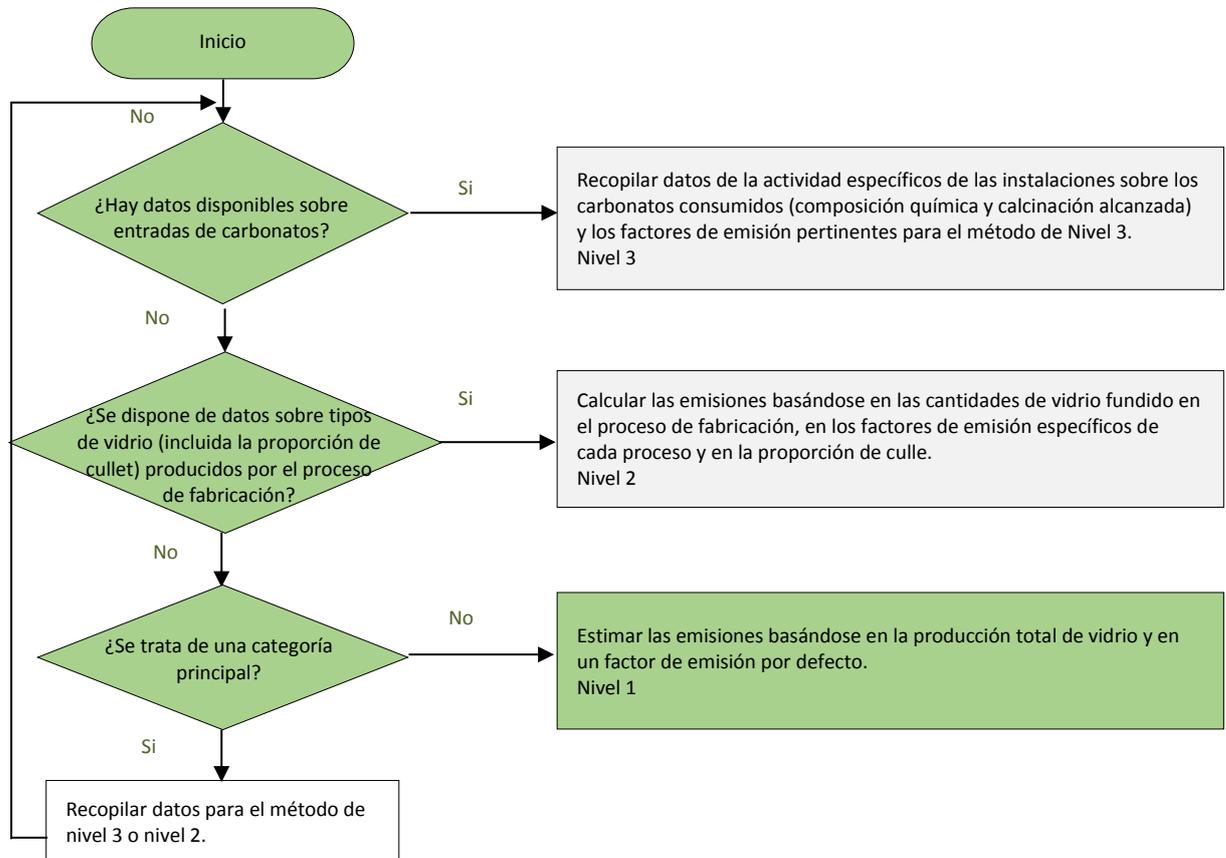
Es la subcategoría 2A3 que se define como las emisiones vinculadas a procesos de la producción de diversos tipos de vidrio (IPCC, 2006)³³. Estas emisiones corresponden a dióxido de carbono y se estiman en el presente reporte con un nivel metodológico 1.

6.1.3.1 Método de cálculo

³³ Directrices del IPPC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 12. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Vidrio



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.33

A nivel nacional no existen datos disponibles sobre entradas de carbonatos utilizados en la producción de vidrio ni tampoco datos de producción de vidrio por tipos. Considerando que no es una categoría principal, la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar para el presente RAGEI, datos de producción total de vidrio aplicando un factor por defecto, lo que corresponde a un nivel 1 de cálculo (ver siguiente tabla).

Tabla 30. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Vidrio

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2A3	Producción de vidrio	Masa del vidrio producido, toneladas	Producción de vidrio fundido	1
		Proporción de <i>cullet</i> (vidrio reciclado) para el proceso, fracción	Proporción de <i>cullet</i> (vidrio reciclado) para el proceso	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1.

Ecuación 6. Ecuación 2.10. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Vidrio

NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO
Emisiones de CO₂ = M_g x EF_g x (1 - CR)

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M_g = masa del vidrio producido, toneladas

EF_g = factor de emisión por defecto para la fabricación del vidrio, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio

CR = proporción de *cullet* para el proceso (promedio nacional o valor por defecto), porcentaje

Fuente: Adaptado de **Directrices del IPCC de 2006**, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.32. Ecuación 2.10

6.1.3.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido obtenido a partir de datos nacionales brindados por las empresas que fueron recopilados en el marco del RAGEI³⁴. La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 31. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Producción de Vidrio

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2A3	Producción de vidrio	Masa del vidrio producido, toneladas	Producción de vidrio fundido	293,531.65	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a).
		Proporción de <i>cullet</i> (vidrio reciclado) para el proceso, fracción	Proporción de <i>cullet</i> (vidrio reciclado) para el proceso	0.34	fracción	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a).

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Al igual que en el caso del RAGEI 2016, se solicitó información a las empresas identificadas como productoras de vidrio primario, ya que la información de masa de vidrio no se encuentra en las estadísticas nacionales, así como tampoco se diferencia la producción de vidrio primario. Para el caso de una de las empresas la información solicitada no fue proporcionada por lo que se obtuvo correlacionando lo reportado para los RAGEI anteriores con la estadística nacional de fabricación de productos de vidrio (INEI, s.f.).

La identificación de las empresas se hizo en base al directorio de empresas registradas en actividad de la SUNAT³⁵, entonces se mantuvo el alcance de los RAGEI PIUP 2014 y 2016.

Se calcula que las empresas consideradas para la estimación en el RAGEI, representan más del 86 % de la producción nacional del año 2016 para la fabricación de vidrio y productos de vidrio

³⁴ El reporte de las empresas se mantiene en confidencialidad y por tal motivo en este documento no se mencionan los nombres de las empresas ni los datos reportados. Sin embargo, los medios de verificación están archivados en la fuente citada como: *Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2016 (PRODUCE, 2017)*.

³⁵ La fuente es: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. (2015). Directorio de empresas 2015 de la SUNAT (Registro Único de Contribuyentes). Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria.

(CIU 2310 de la cuarta revisión), según la Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos (OGEIEE) del PRODUCE³⁶. Sin embargo, estas empresas representarían un porcentaje mayor si se consideraran solo aquellas que realizan vidrio de manera primaria.

La masa de vidrio primario producido, se obtuvo a partir de la producción de vidrio a la cual se le descontó el vidrio reciclado (denominado proporción de *cullet*). Este valor obtenido fue multiplicado por el factor de emisión por defecto que se deriva de una composición de mezcla típica de materia prima.

El rango de fracción de *cullet* utilizado para las estimaciones es igual a 0.34 lo cual es cercano a lo que indica el IPCC para los países en desarrollo (de 0.4 a 0.6) donde la recuperación de objetos de vidrio está menos difundida.

Aunque, el IPCC indica que la producción de vidrio puede tipificarse en recipientes, vidrios planos (ventanas), fibras de vidrio y vidrios especiales, incluyendo lana de vidrio; en las estadísticas nacionales actuales solo se dispone de información de producción de envases de vidrio. Tampoco se cuenta con información sobre la carbonización de un hidróxido que no produce emisiones netas de CO₂.

6.1.3.3 Factores de emisión y conversión

Para la estimación, se utilizó el factor de emisión por defecto que se describe en la siguiente ecuación, el cual asume una composición típica de la arena mezcla utilizada para la producción de vidrio tal como se indica en la siguiente ecuación.

Ecuación 7. Factor de emisión de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Vidrio

<p>NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO</p> $EF_g = 0.167 \div 0.84 = 0.20 \text{ toneladas de CO}_2/\text{toneladas de vidrio}$
<p>Donde:</p> <p>EF_g = factor de emisión por defecto para la producción de vidrio, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio</p>

Fuente: Adaptado de Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.34. Ecuación 2.13

La siguiente tabla, describe la información del factor de emisión por defecto utilizado, la Composición de mezcla típica de materias primas y la proporción de *cullet* promedio. El factor de conversión correspondiente a proporción de *cullet* (vidrio reciclado) utilizado como materia prima (%), puede también ser un valor por defecto, pero para el año 2019³⁷ se calculó a partir de los datos nacionales de actividad.

³⁶ La fuente es: La oficina general de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos (2016). Participación de las Principales Empresas en la Producción según clase CIU, reportado en RAGEI 2014.

³⁷ Para los años de la serie 2000, 2005, 2010, la información presenta vacíos y se estableció como valor constante para la conversión una proporción de *cullet* de 36.08 % (promedio de reportes del 2012 y 2014) en lugar de asumir el valor por defecto de 50 %.

Tabla 32. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Vidrio

Dato	Valor	Unidad	Calculado (C) / Por Defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la producción de vidrio	0.20	toneladas de CO ₂ / toneladas de vidrio producido	D	Factor por defecto utilizado en el nivel 1, cuando se desconoce la composición de la materia prima y se asume una composición mezcla típica por defecto. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 2.35
Composición de mezcla típica de materias primas: feldespato, dolomita, piedra caliza y ceniza de sosa	56% Arena 5% Feldespato 10% Dolomita 9% Piedra caliza 20% ceniza de sosa (carbonato de sodio)	porcentaje (%)	D	Composición de mezcla típica asumida para el factor por defecto usado. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 2.33
Proporción de <i>cullet</i> promedio (vidrio reciclado) como materia prima	0.34	fracción	C	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE 2022a).
Relación de producción de vidrio entre el año 2019 y el año 2016	1.08	relación	C	Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 2.33

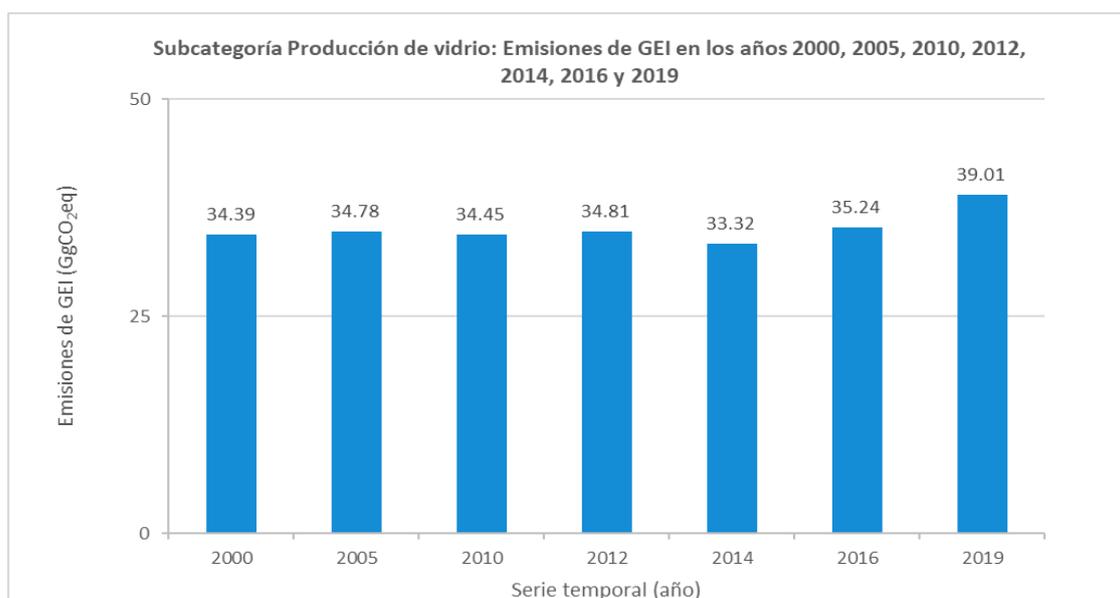
Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.3.4 Análisis de resultados

Las emisiones estimadas de CO₂ de la producción de vidrio en el año 2019 alcanzaron el valor de 39.01 Gg de CO₂ eq. Se aprecia un aumento del 11 % en relación con el año 2016 y de 13 % en relación con el año 2000. En los años evaluados las emisiones estimadas varían en el rango de 34.39 Gg de CO₂ eq del año 2014 y 39.01 Gg de CO₂ eq en el año 2019 (valor más alto de la serie). Sin embargo, cabe indicar que fue necesario asumir una fracción de *cullet* constante para completar las estimaciones de la serie³⁸ y que es probable que esta fracción no refleje el comportamiento real de las emisiones en el tiempo. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para los años evaluados.

³⁸ Este valor constante se aplicó en los años donde no se contaba con información representativa de las empresas, es decir, los para los años 2000, 2005 y 2010.

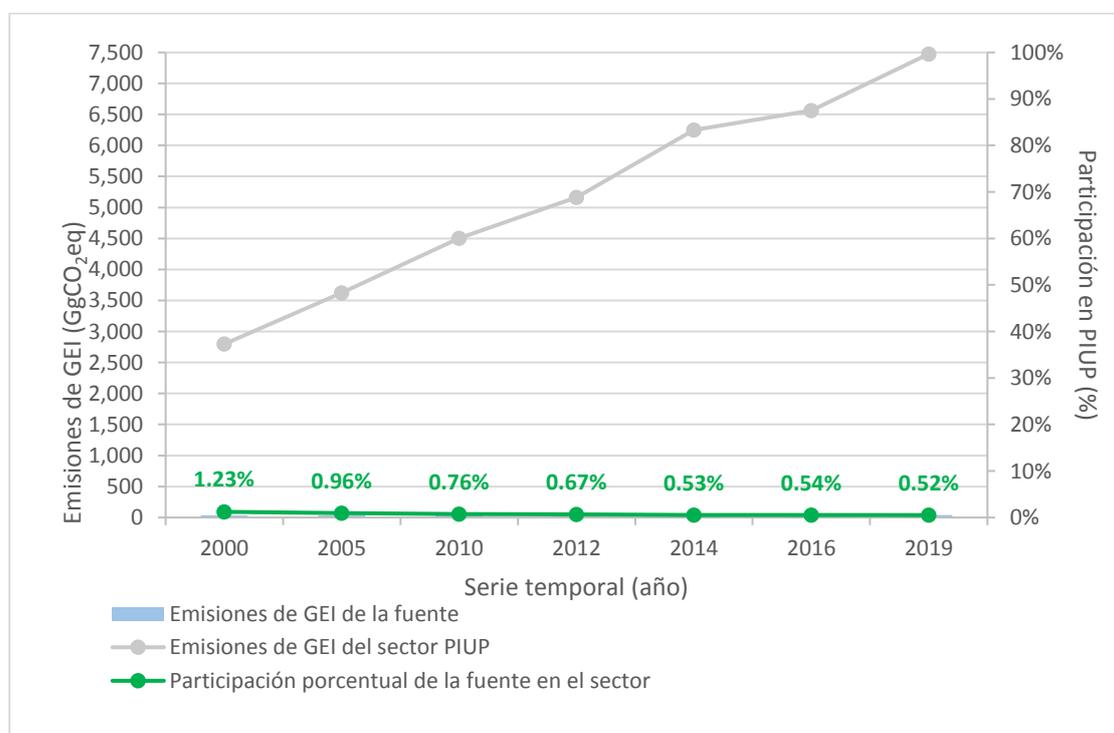
Figura 13. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Vidrio



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La participación de la producción de vidrio en las emisiones del sector PIUP en el año 2019 fue de 0.52 %. Dado que las emisiones estimadas de esta subcategoría no varían significativamente a través de los años, su participación en relación con las emisiones totales, a partir del 2005, han sido menores a 1% (ver siguiente figura).

Figura 14. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Vidrio



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.3.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión por defecto utilizado en la estimación se le atribuye la incertidumbre asociada al uso del factor de emisión y de la proporción de *cullet* del Nivel 1 de $\pm 60\%$ (ver siguiente tabla).

Tabla 33. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Vidrio

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
60 %	Factor de emisión y de la proporción de cullet	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, pp. 2.35 y 2.36

Las Directrices del IPPC de 2006 señalan que los datos sobre producción de vidrio se miden generalmente con una buena exactitud e indica que la incertidumbre por defecto asociada es igual a $\pm 5\%$. Sin embargo, para el caso de una de las empresas se indica que el valor de incertidumbre es de $\pm 40\%$ (ver siguiente tabla). Combinando ambos valores, se obtiene un valor de incertidumbre de $\pm 40.31\%$.

Tabla 34. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Vidrio

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
5 %	Datos de producción de vidrio	1
40 %	Datos de producción de vidrio proporcionados por una de las empresas	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, pp. 2.35 y 2.36

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 72.28\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.01\%$ (ver siguiente tabla). Si se conocieran las tecnologías, se podría esperar una reducción de la incertidumbre a través de una evaluación experta.

Tabla 35. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Vidrio

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A		B	E	F	G	M
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPPC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre bre combinada	Incertidumbre bre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2			Procesos Industriales y uso de productos			
---	--	--	---	--	--	--

2A		Industria de los minerales					
	2A3	Producción de Vidrio	CO ₂	40.31%	60.00%	72.28%	$\pm 0.01\%$

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.1.3.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Las estimaciones de lo serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, lo que ocurre sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

Ninguna empresa ha reportado datos para los años 2000 ni 2005, por ello, para estos años se utiliza información de producción de vidrio de las estadísticas nacionales que fue convertida a masa aplicando una función de correlación directa entre producción de envases de vidrio en unidades, obtenidos del Anuario Estadístico Industrial, MYPE y Comercio Interno 2015; y producción de vidrio fundido en masa, reportados por las empresas para los años 2012 y 2014. Las estadísticas nacionales no reportaron el periodo del 2007 al 2011, en este periodo se aplicó la interpolación para hallar los datos de producción de envases de vidrio, luego se aplicó la función de correlación como se hizo para los años 2000 y 2005.

6.1.3.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 36. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Vidrio

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
Si se estiman las emisiones empleando el método de Nivel 3, los resultados pueden compararse con los resultados del método de Nivel 2 para ver si poseen un orden de magnitud similar. Análogamente, si se han estimado las emisiones a partir de datos «de arriba hacia abajo» mediante el método de Nivel 2, pueden compararse estos resultados con los del método más riguroso de Nivel 3 en una pequeña cantidad de instalaciones para ver si los valores por defecto utilizados en el Nivel 2 reflejan las circunstancias nacionales. El método de Nivel 2 descansa en la estimación de emisiones basada en los diferentes tipos de vidrio producidos. Estas estimaciones pueden compararse con los resultados de una auditoría de los diversos proveedores de materias primas para la industria del vidrio. Por ejemplo, pueden compararse las estimaciones nacionales con las estimaciones sobre la cantidad de piedra caliza, de ceniza de sosa y de otros carbonatos que se venden a las industrias de vidrio. Tales datos comerciales pueden obtenerse de cada proveedor o de las asociaciones comerciales.	No se aplica el procedimiento para el nivel de cálculo 1 utilizado.

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Una de las fuentes mayores de incertidumbre en la estimación de emisiones (Nivel 1 y Nivel 2) para la producción de vidrio es la proporción de <i>cullet</i>. La cantidad de vidrio reciclado utilizado puede variar en las distintas instalaciones de un país y en la misma instalación a través del tiempo. El tema de la proporción de <i>cullet</i> se perfila como un buen candidato para una investigación más profunda.</p>	<p>Se calculó una proporción promedio de <i>cullet</i> a partir de los datos provistos por las empresas. Se decidió utilizar este valor promedio en lugar del valor por defecto del 50 % que se considera es muy alto para la realidad del país y se cuenta con información representativa del sector.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.36

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.1.4 Subcategoría 2A4, fuente 2A4a: Cerámicas

Forma parte de la subcategoría 2A4 de otros usos de carbonatos en los procesos. La fuente 2A4a se define como las emisiones vinculadas de procesos de la producción de ladrillos y tejas, tuberías de arcilla vitrificada, productos refractarios, productos de arcilla expandida, azulejos y pavimentos, vajillas y ornamentos cerámicos, sanitarios, cerámicas técnicas y abrasivos inorgánicos vinculadas a procesos de la producción de diversos tipos de cemento (IPCC, 2006)³⁹.

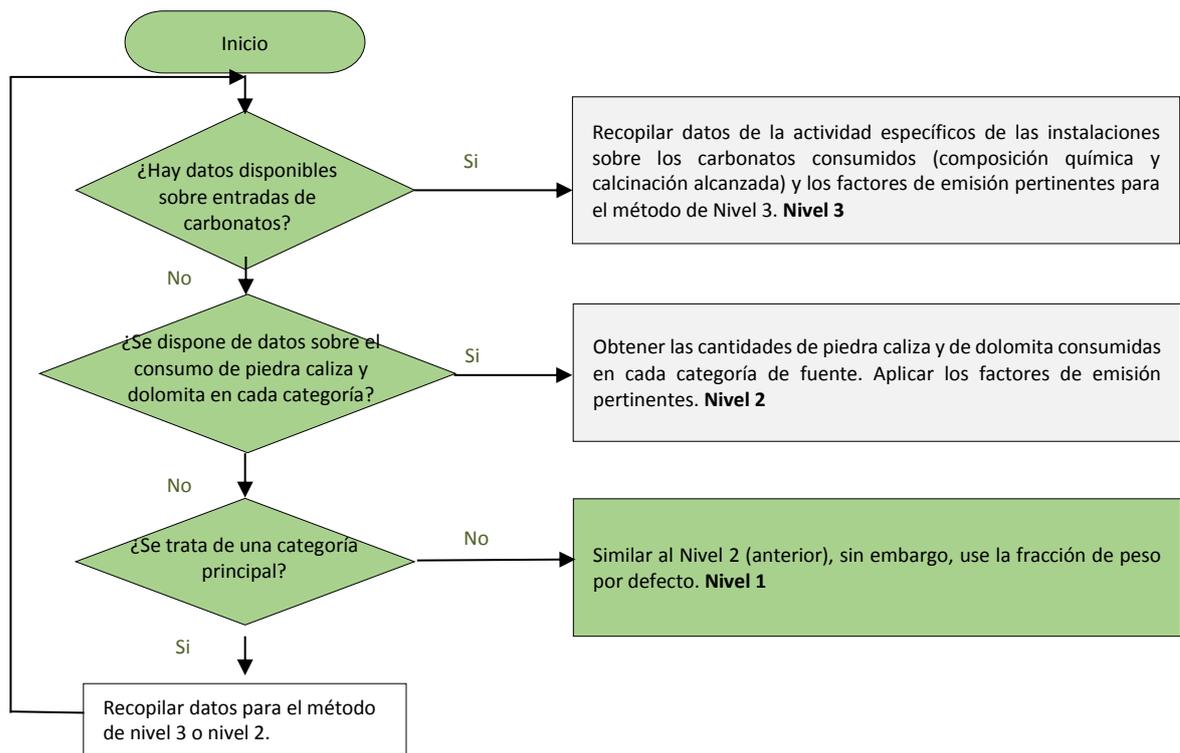
El presente reporte, describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono derivadas del uso de carbonatos.

6.1.4.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

³⁹ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Figura 15. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.40

Se utiliza el nivel 1 para la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría dado que no se cuenta con datos de entradas de carbonatos, no se tiene datos sobre el consumo de piedra caliza y dolomita en cada categoría, ni es una categoría principal. Sí se cuenta con estadísticas nacionales sobre producción de productos cerámicos. El nivel metodológico se describe en la siguiente tabla.

Tabla 37. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2A4a	Cerámicas	Masa del carbonato (calcita o dolomita) consumido en los procesos, toneladas	Producción de ladrillo de techo (hueco)	1
			Producción de ladrillo king kong	
			Producción de ladrillo pandereta	
			Producción de otros ladrillos para muro	
			Masa promedio por unidad de ladrillo de techo (hueco)	
			Masa promedio por unidad de ladrillo king kong	
			Masa promedio por unidad de ladrillo pandereta	
			Masa promedio por unidad de otros ladrillos para muro (promedio general)	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La ecuación para estimar las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1 es:

Ecuación 8. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

$$\text{NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA MASA DE LOS CARBONATOS CONSUMIDOS}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \times (0.85 \times EF_{1s} + 0.15 \times EF_d)$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos (cerámicas), toneladas

M_c = masa de carbonato consumido⁴⁰, toneladas

EF_{1s} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.38. Ecuación 2.14

La Masa de carbonato (M_c) que representa el nivel de actividad ha sido calculada con la siguiente ecuación.

Ecuación 9. Cálculo de masa de carbonato consumido - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas

$$M_c = \text{Masa promedio por unidad} \times \text{Producción total} \times 1.1 \times 10 \%$$

Donde:

1.1 es el factor de pérdidas por defecto (la relación de masa de arcilla usada y masa de cerámico producido) (fracción)

10 % (ó 0.1) es el contenido por defecto de carbonatos en las arcillas

M_c = masa de carbonato consumido, toneladas

Masa promedio por unidad = Masa promedio de producto cerámico por unidad, kilogramos

Producción total = Producción total de productos cerámicos, millares de unidades

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2

Al multiplicar la masa promedio por tipo de producto cerámico y la cantidad en unidades producida se obtiene la masa total producida de cerámicos. El factor de pérdidas por defecto es igual a 1.1 y describe la relación entre el consumo de arcilla y la producción de cerámico, es decir, por cada tonelada de cerámico se consume 1.1 toneladas de arcilla. Además, las Directrices del IPPC de 2006 también indican un contenido por defecto de los carbonatos en las arcillas de 10 %. De este modo la ecuación presentada anteriormente permite obtener la masa de carbonato consumido para la producción de cerámicas.

6.1.4.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido obtenido a partir de estadísticas nacionales, entre otros. La siguiente tabla, describe la información utilizada.

⁴⁰ En las Directrices del IPPC de 2006 dice "producido" en lugar de "consumido", pero se refiere a este último, por lo que se corrige para facilitar la comprensión.

Tabla 38. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Valor	Fuente de información
2A4a	Cerámicas	Masa del carbonato (calcita o dolomita) consumido en los procesos, toneladas	Producción de cerámicos de pared y piso	metros cuadrados	63,114,397.00	Anuario Estadístico (PRODUCE, 2020)
			Producción de ladrillo de techo (hueco)	millar de unidades	76,523.00	
			Producción de ladrillo king kong	millar de unidades	113,945.00	
			Producción de ladrillo pandereta	millar de unidades	92,347.00	
			Producción de otros ladrillos para muro	millar de unidades	18,877.00	
		Masa promedio por metro cuadrado de cerámicos de pared y piso	Kilogramo (kg)	16.32	Planilla de estimación de masas de cerámicos (PRODUCE, 2022b)	
		Masa promedio por unidad de ladrillo de techo (hueco)	kilogramo (kg)	7.21		
		Masa promedio por unidad de ladrillo king kong	kilogramo (kg)	2.94		
		Masa promedio por unidad de ladrillo pandereta	kilogramo (kg)	2.14		
		Masa promedio por unidad de otros ladrillos para muro / Masa promedio por unidad de ladrillo (promedio general)	kilogramo (kg)	3.66		

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

En relación con los datos nacionales de producción, la información fue obtenida de los Anuarios Estadísticos que genera la Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos (OGEIEE) del PRODUCE.

Las estadísticas nacionales que reporta la OGEIEE del Ministerio de la Producción se presentan como una relación de productos principales (en la que se incluye a la producción de ladrillos y otros productos cerámicos). Los valores consignados corresponden a las líneas de productos sobre las que las principales empresas manufactureras reportan en la encuesta de Estadística Industrial Mensual y que representan en promedio el 80 % del Valor Bruto de Producción de 93 clases industriales⁴¹.

Las masas promedio para los distintos tipos de productos cerámicos, fueron actualizadas para el RAGEI 2019, siguiendo la misma metodología y alcance del RAGEI 2014, mediante la realización de una encuesta enviada a las principales empresas productoras de cerámicas y ladrillos⁴². Asimismo, en la actualización de esta evaluación de masas, se logra obtener masas promedios para cerámicos de pared y piso, que en anteriores RAGEI no se abordaban.

⁴¹ Esta información fue brindada por los representantes de la Dirección de Estudios Económicos de MYPE e Industria (DEMI) de la Dirección General de Estudios Económicos, Evaluación y Competitividad Territorial (DIGECOMTE) en el marco de la elaboración del RAGEI 2014.

⁴² La sistematización de las encuestas y las conclusiones se reportan en PRODUCE (2022b) que es la actualización de lo evaluado en PRODUCE (2016a).

Para determinar la masa de carbonatos consumidos en el caso de cerámicas, se multiplica la producción en unidades, la masa promedio, el contenido de arcilla (por defecto), considerando la relación de calcita /dolomita en los carbonatos; a esto, se les aplica los factores de conversión indicados por Directrices del IPPC de 2006.

Aunque las Directrices del IPPC de 2006 sugieren que los compiladores del inventario garanticen que los datos sobre los carbonatos reflejen carbonatos puros y no las rocas carbonatadas, esto no ha podido ser determinado dado que se utilizó información de producción de estadísticas nacionales.

6.1.4.3 Factores de emisión y conversión

Para calcular un factor de emisión general a la producción de cerámicos se aplicó la ecuación presentada a continuación utilizando los valores por defecto para los factores de emisión EF_{ls} (caliza) y EF_d (dolomita), y considerando una participación por defecto de carbonatos consumidos de 85 % de caliza y 15 % de dolomita.

Ecuación 10. Factor de emisión de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

$$\text{Factor de emisión calculado de CO}_2 \text{ para la producción de cerámicos} = 0.85 \times \text{EF}_{ls} + 0.15 \times \text{EF}_d$$

Donde:

EF_{ls} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2

Con este cálculo se obtuvo un factor de emisión para la producción de cerámicos de 0.4453515 toneladas de CO₂/toneladas de carbonato consumido y adaptando la primera ecuación para incluir el factor de emisión calculado se obtiene la siguiente ecuación para el cálculo de las emisiones.

Ecuación 11. Emisiones de CO₂, Nivel 1 (ecuación adaptada) - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA MASA DE LOS CARBONATOS CONSUMIDOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \times \text{Factor de emisión calculado de CO}_2 \text{ para la producción de cerámicos}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \times 0.4453515 \text{ toneladas de CO}_2 \text{/toneladas de carbonato consumido.}$$

Donde:

M_c = masa de carbonato consumido, toneladas

Fuente: Adaptado de Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.38. Ecuación 2.14

En la tabla siguiente tabla se presenta el factor de emisión calculado, así como la información utilizada para su determinación y para la masa de carbonato consumido.

Tabla 39. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

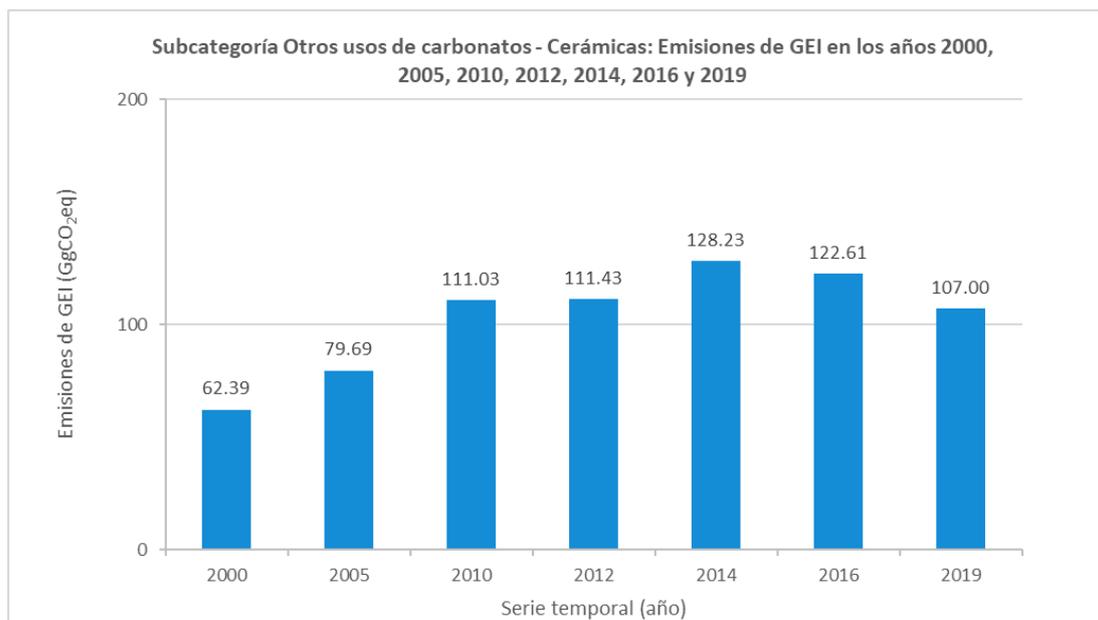
Dato	Valor	Unidad	Calculado (C)/ Por Defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión calculado de CO ₂ para la producción de cerámicas	0.44535	toneladas de CO ₂ / toneladas de carbonato consumido	C	Resultado del cálculo realizado
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la calcinación de la piedra caliza	0.43971	toneladas de CO ₂ / toneladas de calcita consumida	D	Aplica en el nivel 1, se utiliza junto con la participación de caliza en los carbonatos (85 %) para calcular un factor de emisión general. Se deriva por estequiometría del CO ₂ liberado de la calcinación de calcita. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.7, Cuadro 2.1
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la calcinación de la dolomita	0.47732	toneladas de CO ₂ / toneladas de dolomita consumida	D	Aplica en el nivel 1, se utiliza junto con la participación de dolomita en los carbonatos (15 %) para calcular un factor de emisión general. Se deriva por estequiometría del CO ₂ liberado de la calcinación de dolomita. Fuente: G Directrices del IPPC de 2006. L2006. Vol. 3, p. 2.7, Cuadro 2.1
Participación por defecto de carbonatos consumidos por tipo (% de caliza / % de dolomita)	85 / 15	% de caliza / % de dolomita	D	Se indica que es la relación por defecto al desconocerse los tipos de carbonatos consumidos. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.38
Factor de pérdidas por defecto (Relación de arcilla usada y cerámico producido)	1.1	fracción	D	Se indica que es la relación a considerar por defecto para calcular masa de arcilla utilizada. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.41
Contenido por defecto de carbonatos en las arcillas	10	%	D	Aplica como valor por defecto al desconocerse el contenido de carbonatos de las arcillas. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.38

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.4.4 Análisis de resultados

Las emisiones estimadas de CO₂ de la producción de cerámicas alcanzaron el valor de 107.00 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Se aprecia una disminución de 13 % con relación al año 2016, un incremento del 71 % en relación con el año 2000. La tendencia promedio de todo el periodo es ascendente con un crecimiento anual promedio de 4 %. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

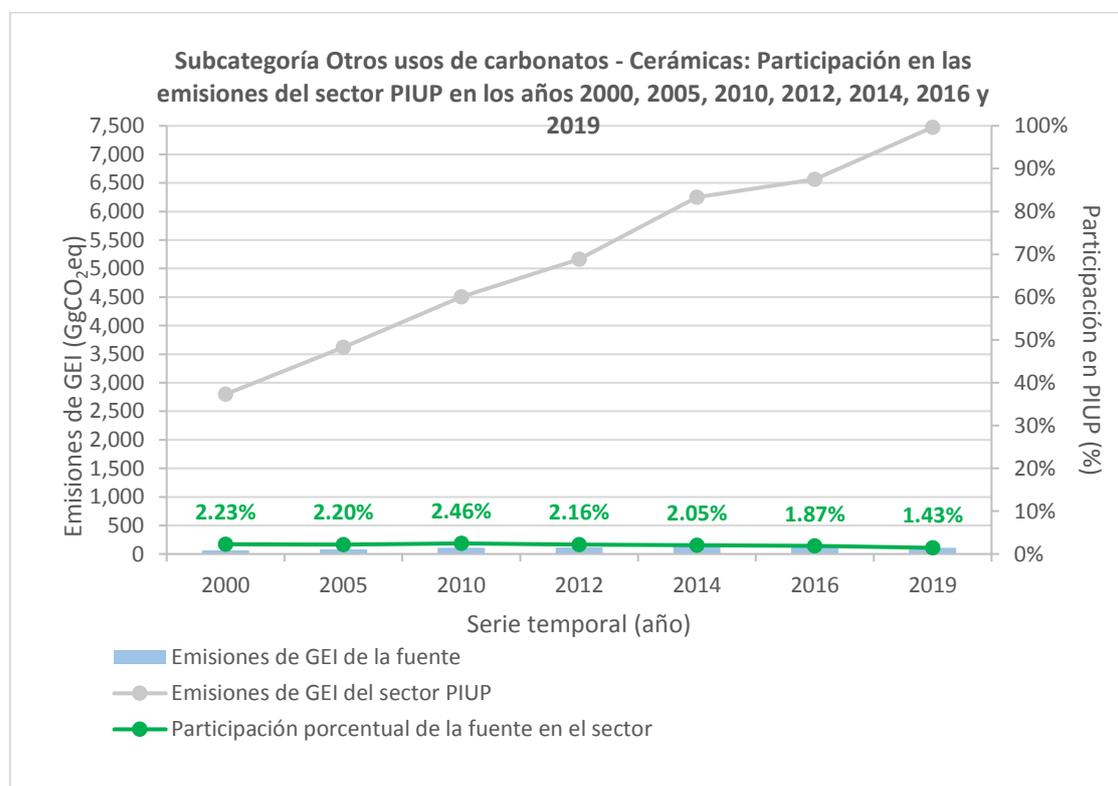
Figura 16. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Las emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el año 2019 representaron el 1.43 % de las emisiones del sector PIUP. Esta participación ha disminuido desde el año 2000, cuando fue de 2.23 % (ver siguiente figura)

Figura 17. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.4.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión por defecto utilizado en la estimación se le atribuye la incertidumbre de la pureza de la piedra carbonatada (de caliza y dolomita), (ver siguiente tabla), por lo cual se ha considerado un valor medio del rango de incertidumbre que es igual a $\pm 3\%$.

Tabla 40. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
1 – 5 %	Hipótesis de una cierta pureza para la fracción de piedra caliza y de dolomita	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3, p. 2.24

La incertidumbre asociada al dato de actividad es igual a $\pm 2.83\%$ que es el resultado de la combinación de dos incertidumbres (del pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada y del análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos), (ver siguiente tabla).

Tabla 41. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Cerámicas

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
1 – 3 %	Pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada	1
1 – 3 %	Análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006 Vol. 3, p. 2.24

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 4.12\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.00023\%$ (ver siguiente tabla).

Tabla 42. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A	B	E	F	G	M	
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre e combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2				Procesos Industriales y uso de productos		
---	--	--	--	---	--	--

2A	Industria de los minerales						
	2A4	Otros usos de Carbonatos					
	2A4a	Producción de Cerámicas	CO ₂	2.83%	3.00%	$\pm 4.12\%$	$\pm 0.00023\%$

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre –

valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.1.4.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016, actualizaron los valores calculados en el RAGEI PIUP 2016 en todos los años. Esto debido a que se actualizaron los datos del nivel de actividad incorporando la producción de cerámicos de pared y piso de la misma fuente de información. La siguiente tabla describe los cambios en los datos nacionales.

Tabla 43. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

N°	Descripción de la actualización	Años que actualiza
1	Se complementó la información sobre el nivel de actividad de producción de cerámicas, incluyendo de productos cerámicos para pared y piso. La fuente de información sigue siendo las estadísticas nacionales de PRODUCE.	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
2	Se actualizó la estimación de las masas promedios de los productos de cerámica con información recopilada en el marco del RAGEI 2019 y registrada en la planilla de estimación de masas (PRODUCE, 2022b). Su estimación anterior se realizó en el marco del RAGEI 2014. Esto actualiza el nivel de actividad de todos los años, pues incluye reportes de más empresas e incluye productos para pared y piso.	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Tabla 44. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

Año actualizado	Emisiones en versión anterior (Gg CO ₂ eq)	Emisiones en versión actual (Gg CO ₂ eq)	Variación
2016	72.77	122.61	68%
2014	80.75	128.23	59%
2012	69.3	111.43	61%
2010	65.39	111.03	70%
2005	39.7	79.69	101%
2000	27.57	62.39	126%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Las estimaciones de lo serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, lo que ocurre sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

Para la producción de cerámicas se utilizaron dos fuentes de información complementarias, siendo, en ambos casos, el informante el Ministerio de la Producción. Por un lado, para los años 2012, 2014, 2016 y 2019, se utilizaron las estadísticas nacionales de producción. Por el otro lado, para los años 2000, 2005 y 2010 se extrapolaron los valores encontrados en las series del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

6.1.4.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 45. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Otros usos de carbonatos - Cerámicas

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Comparación de las estimaciones de las emisiones obtenidas con los diferentes métodos</p> <p>Las estimaciones de emisiones derivadas de cualquier Nivel pueden compararse con las de otros Niveles, aun cuando el método del Nivel 3 pueda estar dando cuenta de especies de carbonatos adicionales no incluidas en los análisis de Nivel 1 ni de Nivel 2. Si se supone que la misma fracción de calcinación alcanzada se emplea para todos los Niveles, las emisiones estimadas con los métodos respectivos serán probablemente similares en magnitud, si se considera que la piedra caliza y la dolomita tienden a contribuir con el mayor porcentaje de emisiones para estas fuentes.</p>	<p>No se realizaron las comparaciones ya que no se aplica métodos de niveles superiores al 1.</p>
<p>Verificación de los datos de la actividad</p> <p>Dado que la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos se consumen en una variedad de industrias, puede que haya una cantidad de fuentes de datos diferentes disponibles que contengan información sobre el consumo de carbonatos en las industrias respectivas. Por ejemplo, los datos para el consumo de piedra caliza en varias instalaciones de la industria del hierro y del acero podrían compararse para ver si la cantidad de fundentes utilizados es similar, en proporción a la producción al nivel de las instalaciones.</p> <p>También, la información específica de la planta sobre el uso de piedra caliza, dolomita y otros carbonatos como fundentes puede compararse con las estadísticas de las asociaciones industriales. Estas estadísticas pueden, a su vez, compararse con las estadísticas de nivel nacional sobre la piedra caliza, la dolomita y otros consumos de carbonatos.</p> <p>Suele ser útil examinar las tendencias de los datos de la actividad a través del tiempo para ver si se producen grandes fluctuaciones de un año para otro. Los compiladores del inventario deben ser cautos al sacar conclusiones basadas en los datos de tendencias, pues en estas estadísticas puede haber grandes fluctuaciones entre año y año.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento. Se utilizó una fuente de información gubernamental para la estimación para el nivel 1 que no describía tipos de carbonatos utilizados. No se realizó comparaciones con otras fuentes de información y se cuenta con información representativa del sector.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.44

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.1.5 Subcategoría 2A4, fuente 2A4b: Otros usos de ceniza de sosa

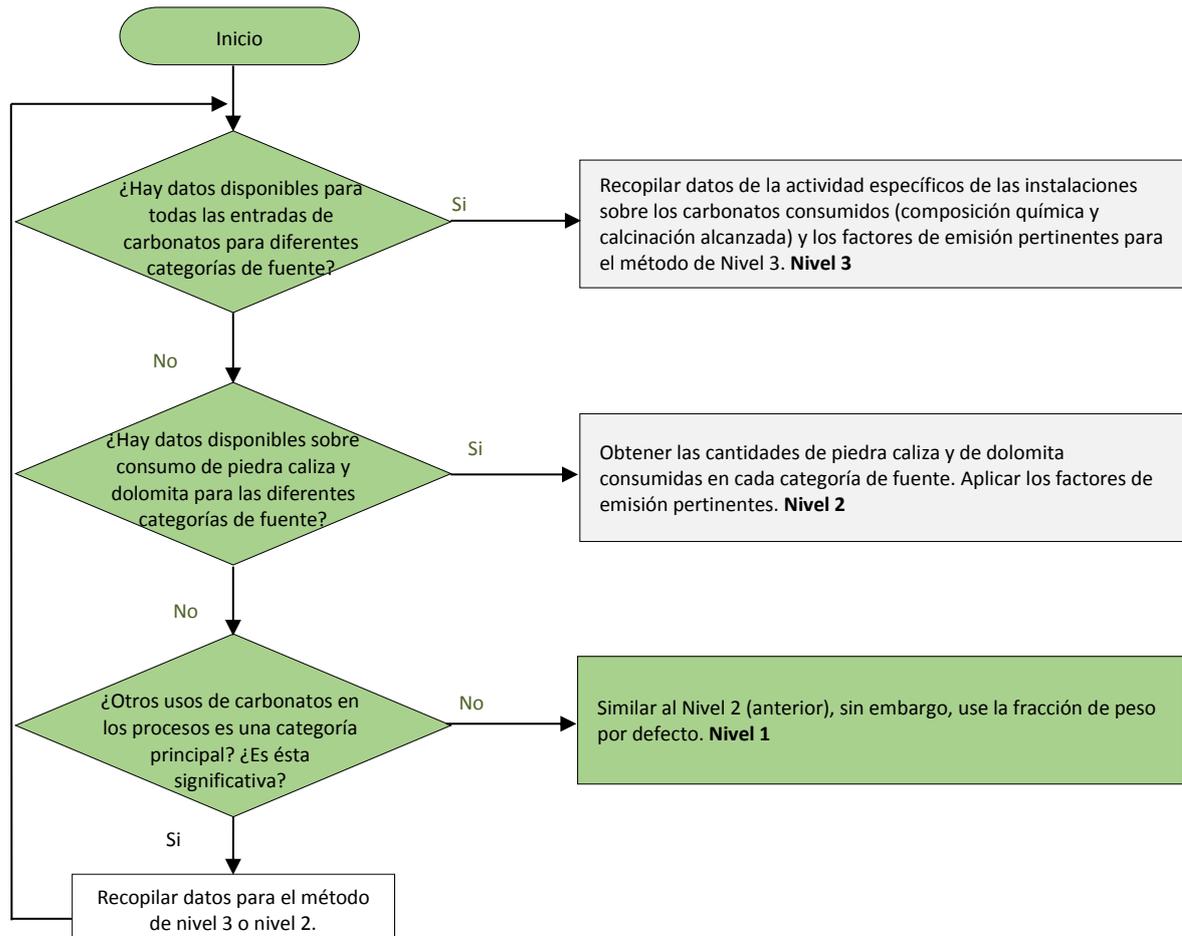
Forma parte de la subcategoría 2A4 de otros usos de carbonatos en los procesos. La fuente 2A4b se define como las emisiones por el uso de cenizas de sosa (también como carbonato de sodio) que no se incluyeron en ningún otro lugar (la ceniza de sosa usada para la producción

de vidrio debe declararse en 2A3) (IPCC, 2006)⁴³. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono. Cabe señalar que el carbonato de sodio es el equivalente a la ceniza de sosa y en el presente reporte se utiliza ambos como sinónimos.

6.1.5.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 18. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.40

A nivel nacional no existen datos disponibles sobre entradas de carbonatos utilizados en la producción de ceniza de sosa ni tampoco datos de consumo de piedra carbonatada. Considerando que no es una categoría principal, la aplicación del árbol de decisiones recomienda aplicar para el presente RAGEI factores por defecto y usar valores de masa, lo que corresponde a un nivel 1 de cálculo (ver siguiente tabla).

⁴³ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Tabla 46. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2A4b	Otros usos de la ceniza de sosa	Masa de ceniza de sosa consumida en los procesos, toneladas	Importaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	1
			Exportaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	
			Producción de carbonato de sodio	
			Consumo de carbonato de sodio para la producción de vidrio	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1.

Ecuación 12. Emisiones de CO₂, Nivel 1 – Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \times EF_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos del carbonato de sodio en los procesos, toneladas

M_c = masa de carbonato consumido (carbonato de sodio), toneladas

EF_{Na₂CO₃} = factor de emisión para el consumo de carbonato de sodio, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2

Dado que lo que se desea obtener es la masa consumida de ceniza de sosa (M_c) pero no existen fuentes de información que reporten este dato directamente, se optó por estimarlo de manera indirecta a partir de la información obtenida de producción, importación, exportación y consumo del carbonato de sodio para vidrio (que debe ser restado en esta subcategoría para evitar doble contabilidad⁴⁴). El esquema de cálculo descrito con la siguiente ecuación describe la determinación de M_c, donde la masa de carbonato de sodio consumido para otros usos es igual a la suma de la masa producida e importada de carbonato de sodio menos la masa exportada y consumida para producción de vidrio.

Ecuación 13. Ecuación de cálculo de masa de carbonato consumido – Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

$$\text{Consumo local para otros usos (M}_c\text{)} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación} - \text{Consumo local para vidrio}$$

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

A continuación, se muestra la ecuación que describe el cálculo de la masa de carbonato consumido para la producción de vidrio, cuyo resultado debe ser descontado de la estimación de las emisiones de otros usos de ceniza de sosa, para evitar doble contabilidad.

⁴⁴ En la subcategoría 2A3 ya se contabilizan las emisiones de CO₂ del consumo de carbonato de sodio en la producción de vidrio.

Ecuación 14. Ecuación de cálculo de masa de carbonato consumido para vidrio – Otros usos de la Ceniza de Sosa

$$\text{Consumo local de carbonato de sodio para vidrio} = M_g \times (1 / 0.84) \times 0.2$$

Donde:

M_g = masa de vidrio producido, toneladas – ver La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

Subcategoría 2A3: Producción de vidrio

1 / 0.84 representa la relación de materia prima y vidrio producido (de acuerdo con la composición típica para el factor de emisión por defecto)

0.2 es la participación de la ceniza de sosa (carbonato de sodio) en la arena mezcla para producir vidrio (convertida de porcentaje a fracción)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2

6.1.5.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido obtenido a partir de estadísticas nacionales del gobierno. La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 47. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2A4b	Otros usos de la ceniza de sosa	Masa de ceniza de sosa consumida en los procesos, toneladas	Importaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	59,851,002.20	kilogramos (kg)	Base de datos de SUNAT (SUNAT, 2021)
			Exportaciones de carbonato de sodio (en peso neto)	9,162,003.3	kilogramos (kg)	Base de datos de SUNAT (SUNAT, 2021)
			Producción de carbonato de sodio	71,645.43	kilogramos (kg)	Base de datos de SUNAT (SUNAT, 2021)
			Consumo de carbonato de sodio para la producción de vidrio	46,440.59	Tonelada (t)	Dato calculado en base a: Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a) Directrices del IPPC de 2006 (IPCC, 2006)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Aunque no se cuenta con datos de entradas de carbonatos en plantas, sí se obtuvo información de estadísticas nacionales de carbonato de sodio sobre producción, importación y exportación por ser un insumo químico fiscalizado por ley⁴⁵. La producción, importación y exportación de carbonato de sodio, y su consumo local para la producción de vidrio, son los datos nacionales utilizados para calcular el nivel de actividad de la masa de carbonato consumido. El consumo

⁴⁵ No para todos los años. El dato de producción solo se tiene para los años 2014 y 2016 (verificar si es necesario este pie de página).

de carbonato de sodio de la producción de vidrio se calculó de acuerdo con la ecuación presentada anteriormente en base al dato nacional de producción de vidrio (ver sección de Subcategoría 2A3: Producción de vidrio) y considerando la relación entre materia prima y producto, y la composición típica por defecto de la materia prima (arena mezcla) (ver datos de la siguiente tabla en la siguiente sección).

6.1.5.3 Factores de emisión y conversión

El Factor de emisión por defecto de CO₂ para el uso de la ceniza de sosa es de 0.41492 toneladas de CO₂ / toneladas de carbonato de sodio consumido y se deriva por estequiometría de la reacción de la calcinación del carbonato de sodio.

La siguiente tabla describe el factor de emisión por defecto utilizado. Asimismo, se indican los valores de la relación de materia prima y vidrio producido y la participación del carbonato de sodio en la arena mezcla para el cálculo de masa de carbonato consumido para vidrio.

Tabla 48. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

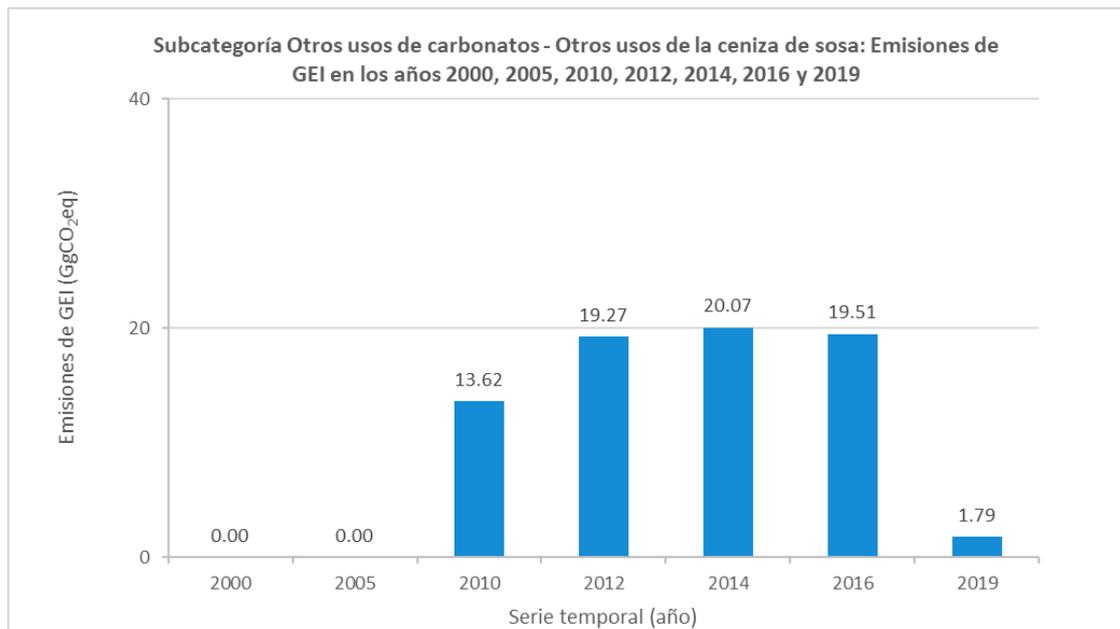
Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para el uso de la ceniza de sosa (carbonato de sodio)	0.41492	toneladas de CO ₂ / toneladas de ceniza de sosa utilizada	D	Aplica por defecto en un nivel 1, se deriva por estequiometría del CO ₂ liberado de la calcinación de carbonato de sodio. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.33 y Vol. 3, p. 2.7, Cuadro 2.1
Relación de materia prima y vidrio producido (de acuerdo con la composición típica para el factor de emisión por defecto)	1 / 0.84	fracción arena mezcla / vidrio producido	D	Se considera para calcular la masa de carbonato de sodio usado para la producción de vidrio en 2A3 y descontarla de esta fuente de emisión. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.33
Participación de la ceniza de sosa (carbonato de sodio) en la arena mezcla para producir vidrio	20	%	D	Se considera para calcular la masa de carbonato de sodio usado para la producción de vidrio en 2A3 y descontarla de esta fuente de emisión. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.33

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.5.4 Análisis de resultados

Las emisiones estimadas de CO₂ de otros usos de ceniza de sosa alcanzan el valor de 1.79 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Se aprecia una disminución del 91 % en relación con el año 2016. Para los años 2000 y 2005 se calculó un consumo nulo de ceniza de sosa para otros usos y por lo tanto las emisiones estimadas resultantes son también nulas. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

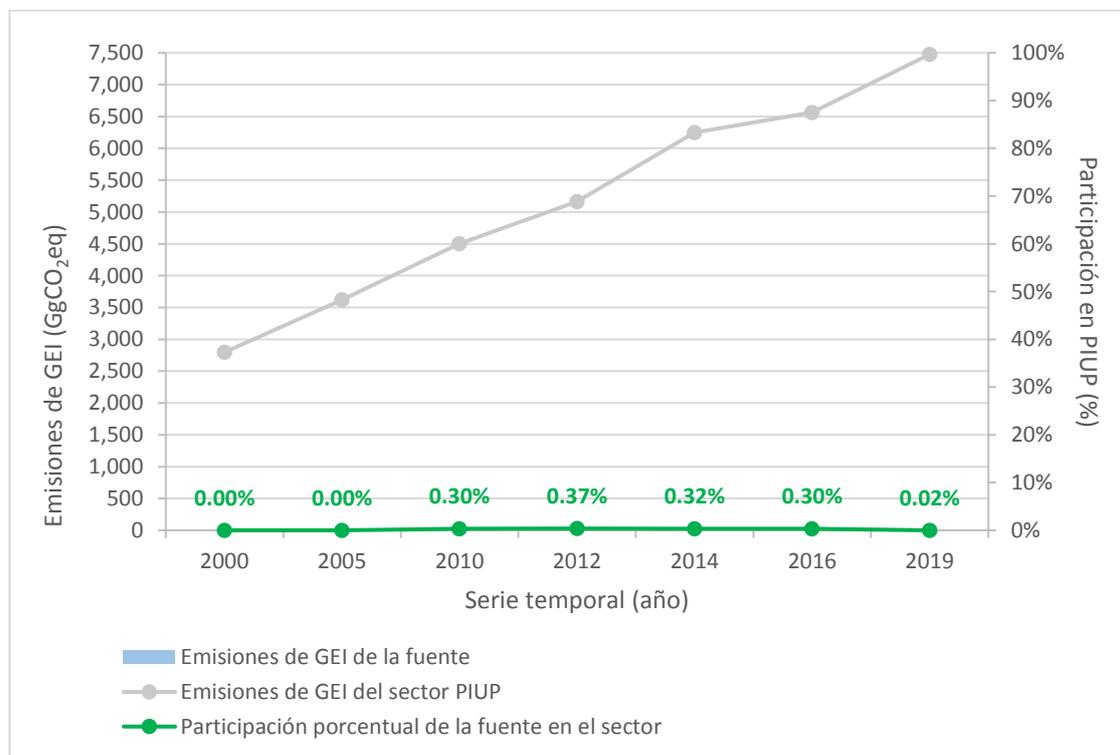
Figura 19. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Las emisiones de otros usos de ceniza de sosa en el año 2019 representaron el 0.02 % de las emisiones del sector PIUP. La siguiente figura describe la participación porcentual de esta fuente para todos los años evaluados.

Figura 20. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.1.5.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión por defecto utilizado en la estimación se le atribuye la incertidumbre de la pureza de la piedra carbonatada (de caliza y dolomita)⁴⁶, por lo cual se ha considerado un valor medio del rango de incertidumbre $\pm 3 \%$ (ver siguiente tabla).

Tabla 49. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión – Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
1 – 5 %	Hipótesis de una cierta pureza para la fracción de piedra caliza y de dolomita	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.24

La incertidumbre asociada al dato de actividad es igual a $\pm 2.83 \%$ que es el resultado de la combinación de dos incertidumbres (del pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada y del análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos), (ver siguiente tabla).

Tabla 50. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
1 – 3 %	Pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada	1
1 – 3 %	Análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 2.24

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 4.12 \%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.0000007 \%$ (ver siguiente tabla). Cabe indicar que, las emisiones de esta subcategoría en el año 2000 (año base) fueron nulas.

⁴⁶ Se indica en las Directrices del IPPC de 2006 por defecto para la subcategoría de otros usos de carbonatos, pero es preciso mencionar que en este caso el carbonato es carbonato de sodio (ceniza de sosa)

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A		B	E	F	G	M
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de	Incertidumbre bre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2	Procesos Industriales y uso de productos					
---	--	--	--	--	--	--

2A		Industria de los minerales					
	2A4	Otros usos de Carbonatos					
	2A4a	Producción de Cerámicas	CO ₂	2.83%	3.00%	±4.12%	±0.0000007%

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.1.5.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Las estimaciones de la serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, lo que ocurre sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

Para los valores de importación y exportación para todos los años se utilizaron los datos reportados por la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, por ser un bien fiscalizado por ley. Para los valores de producción la SUNAT solo tiene información a partir del año 2014. Por lo que, para estimar la producción de los años 2000, 2005, 2010, 2012 se asumió una relación constante en el tiempo entre la producción y el consumo local de carbonato de sodio. Para los años 2000 y 2005, los resultados obtenidos de consumo de carbonato de sodio mediante este ajuste fueron negativos, por lo cual la producción se consideró nula.

6.1.5.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 51. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Otros usos de carbonatos – Otros usos de la Ceniza de Sosa

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Comparación de las estimaciones de las emisiones obtenidas con los diferentes métodos</p> <p>Las estimaciones de emisiones derivadas de cualquier Nivel pueden compararse con las de otros Niveles, aun cuando el método del Nivel 3 pueda estar dando cuenta de especies de carbonatos adicionales no incluidas en los análisis de Nivel 1 ni de Nivel 2. Si se supone que la misma fracción de calcinación alcanzada se emplea para todos los Niveles, las emisiones estimadas con los métodos respectivos serán probablemente similares en magnitud, si se considera que la piedra caliza y la dolomita tienden a contribuir con el mayor porcentaje de emisiones para estas fuentes.</p>	<p>No se realizaron las comparaciones ya que no se dispone de información sobre el nivel de actividad para aplicar métodos de niveles superiores al 1.</p>
<p>Verificación de los datos de la actividad</p> <p>Dado que la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos se consumen en una variedad de industrias, puede que haya una cantidad de fuentes de datos diferentes disponibles que contengan información sobre el consumo de carbonatos en las industrias respectivas. Por ejemplo, los datos para el consumo de piedra caliza en varias instalaciones de la industria del hierro y del acero podrían compararse para ver si la cantidad de fundentes utilizados es similar, en proporción a la producción al nivel de las instalaciones.</p> <p>También, la información específica de la planta sobre el uso de piedra caliza, dolomita y otros carbonatos como fundentes puede compararse con las estadísticas de las asociaciones industriales. Estas estadísticas pueden, a su vez, compararse con las estadísticas de nivel nacional sobre la piedra caliza, la dolomita y otros consumos de carbonatos.</p> <p>Suele ser útil examinar las tendencias de los datos de la actividad a través del tiempo para ver si se producen grandes fluctuaciones de un año para otro. Los compiladores del inventario deben ser cautos al sacar conclusiones basadas en los datos de tendencias, pues en estas estadísticas puede haber grandes fluctuaciones entre año y año.</p>	<p>Se descontó el consumo de carbonato de sodio derivado de la producción de vidrio (subcategoría 2A3). Esto se estimó considerando el supuesto de la composición típica de la materia prima que se aplica en el factor por defecto para mantener coherencia con las estimaciones de 2A3.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 2, p. 2.44

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.2 Categoría 2B: Industria química

6.2.1 Subcategoría 2B2: Producción de ácido nítrico

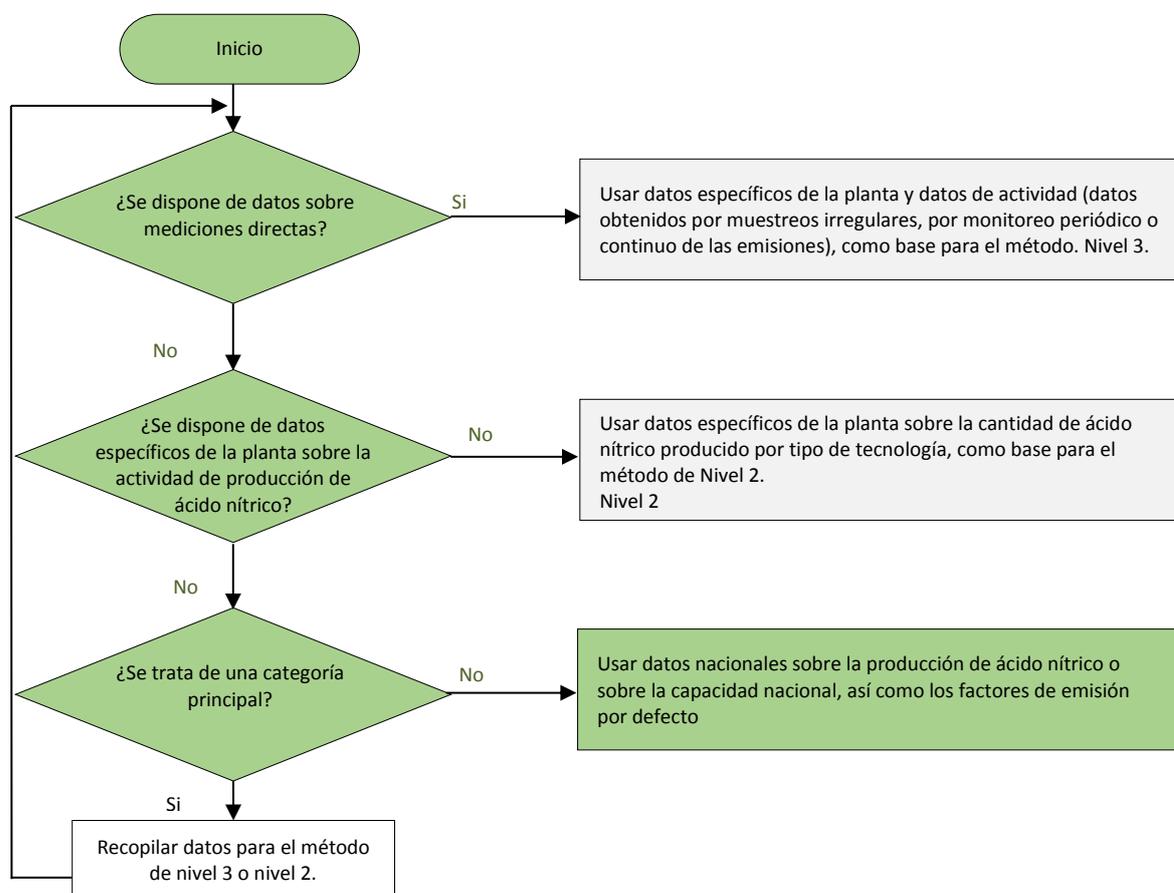
El IPCC (2006) se refiere a la subcategoría 2B2 como las vinculadas a la producción de ácido nítrico y le atribuye la siguiente definición: “El ácido nítrico se usa principalmente como

materia prima en la fabricación de fertilizantes basados en nitrógeno. El ácido nítrico puede usarse también en la producción de ácido adípico y de explosivos (por ejemplo, la dinamita), para decapado de metales y en el procesamiento de metales ferrosos. El principal gas de efecto invernadero emitido durante la producción de HNO_3 es el óxido nitroso” (IPCC, 2006)⁴⁷. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) de esta subcategoría.

6.2.1.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 21. Árbol de decisión para estimar las emisiones de N_2O - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 3, p. 3.28

Considerando que no se dispone de datos de mediciones directas ni específicos de planta y que MINAM (2021) no establece esta subcategoría como principal la aplicación del árbol de

⁴⁷ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

decisiones recomienda utilizar los factores de emisión por defecto y datos de la producción nacional agregada, lo que corresponde a un nivel 1 de cálculo.

Tabla 52. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de N₂O - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2B2	Producción de ácido nítrico	Producción de ácido nítrico, toneladas	Producción de ácido nítrico	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de óxido nitroso en el nivel 1.

Ecuación 15. Emisiones de N₂O, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

EMISIONES DE N₂O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO – NIVEL 1
 Emisiones de N₂O = EF x NAP

Donde:

Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O, kilogramos

EF = factor de emisión de N₂O (por defecto), kg. de N₂O / toneladas de ácido nítrico producido

NAP = producción de ácido nítrico, toneladas

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 3, p. 3.19. Ecuación 3.5

6.2.1.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido determinado a partir de información de producción solicitada al sector privado. La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 53. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2016 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2B2	Producción de ácido nítrico	Producción de ácido nítrico, toneladas	Producción de ácido nítrico (no puro)	47,809.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Pureza de la solución de ácido nítrico producido, porcentaje	Concentración / Pureza de la solución de ácido nítrico producido	53.50	porcentaje (%)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

En un nivel 1, la producción de ácido nítrico se multiplica por un factor por defecto. Cabe indicar que el ácido nítrico es un insumo químico fiscalizado por ley y la SUNAT cuenta con el registro sobre su producción a partir del año 2014. Esta información es útil para contrastar con la información recopilada del sector privado, a modo de control de calidad.

6.2.1.3 Factores de emisión y conversión

La siguiente tabla se describe el factor de emisión utilizado que se seleccionó de los valores por defecto de las Directrices del IPPC de 2006 siguiendo sus recomendaciones de buenas prácticas.

Tabla 54. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

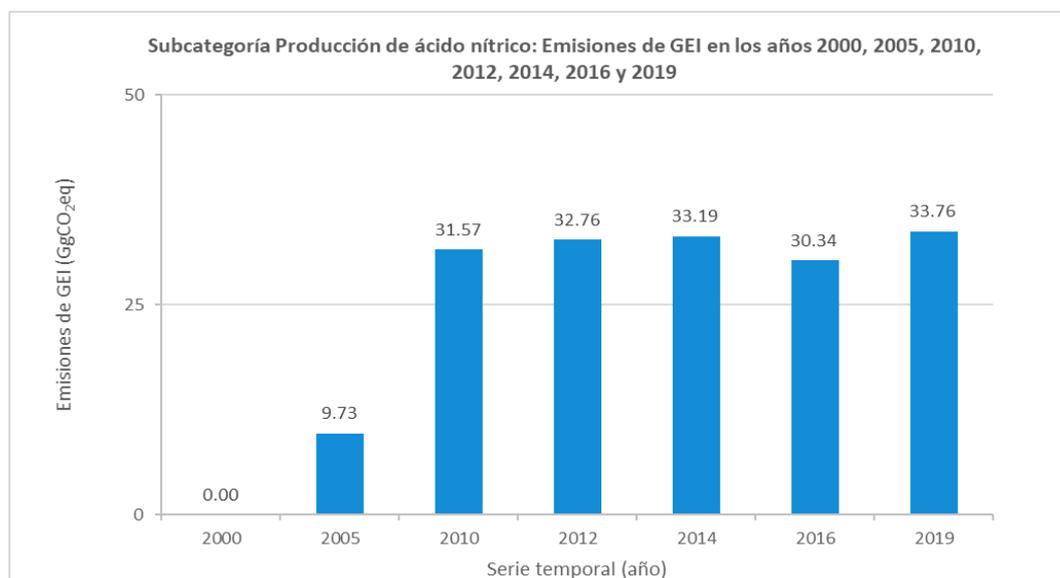
Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión para plantas a baja presión atmosférica	5	kg de N ₂ O / tonelada de ácido nítrico producido	D	Se conoce que la producción nacional ocurre en a baja presión atmosférica. Se utiliza el valor dado en Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, pp. 3.21, 3.22

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.2.1.4 Análisis de resultados

Las emisiones de N₂O de la producción de ácido nítrico se estiman tienen un valor de 33.76 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Estas emisiones presentan una disminución de 11 % en relación con el año 2016. La tendencia entre el año 2010 y 2019 es puede considerarse constante. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

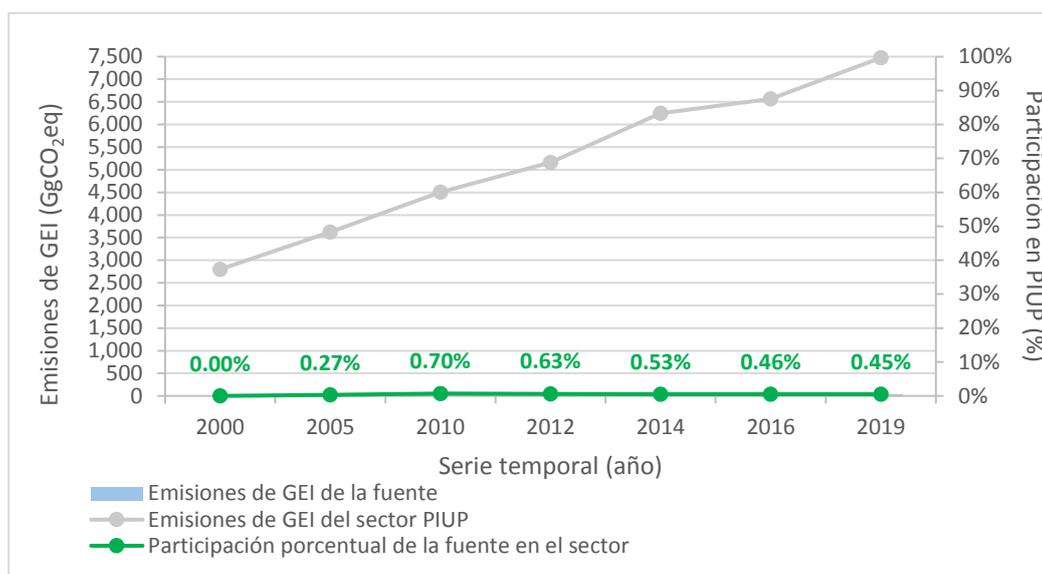
Figura 22. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La participación de la subcategoría de producción de ácido nítrico en las emisiones totales del sector en el tiempo no es significativa, no superando en todos los años evaluado ni el 1 % (ver siguiente figura).

Figura 23. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.2.1.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión por defecto utilizado en la estimación (correspondiente a plantas a baja presión) se le atribuye una incertidumbre por defecto de $\pm 10\%$ (ver siguiente tabla).

Tabla 55. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
10 %	Factor de emisión por defecto de N ₂ O de Plantas a baja presión	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 3.22, Cuadro 3.3

Las Directrices del IPPC de 2006 señala como buena práctica obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

Por otro lado, para el dato de actividad se utilizó el valor de incertidumbre de $\pm 2\%$ que recomienda las Directrices del IPPC de 2006 cuando no se dispone de información (ver siguiente tabla).

Tabla 56. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
2 %	Datos de la actividad cuando no se dispone de información	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 3.24

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 10.20\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual

a ± 0.000012 % (ver siguiente tabla). Cabe indicar que, las emisiones de esta subcategoría en el año 2000 (año base) fueron nulas.

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A		B	E	F	G	M
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de	Incertidumbre en el factor de	Incertidumbre re combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2	Procesos Industriales y uso de productos					
---	---	--	--	--	--	--

2B	Industria de los minerales					
	2B2	Producción de Ácido Nítrico	N ₂ O	2.00%	10.00%	$\pm 10.20\%$
						$\pm 0.000012\%$

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.2.1.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016, actualizaron los valores calculados en el RAGEI PIUP 2016 en todos los años. Esto debido a que se modificó el factor de emisión de 5 Kg N₂O / tonelada de amoníaco a 9 Kg N₂O / tonelada de amoníaco, que corresponde a plantas a baja presión, y a que los datos nacionales variaron a ser más precisos porque se cambió la fuente de información (de estadísticas nacionales a información brindada por el sector privado). La siguiente tabla describe los cambios.

Tabla 57. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

N°	Descripción de la actualización	Años que actualiza
1	La fuente de información se cambió de estadísticas nacionales (SUNAT, 2017) a una información recopilada del sector privado (PRODUCE, 2022a)	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
2	Se modificó el factor de emisión de 5 a 9 Kg N ₂ O / tonelada de amoníaco de acuerdo con lo que corresponde a plantas de baja presión según IPCC (2006) ⁴⁸ . Esto también modificó el valor de incertidumbre asignado al factor de emisión.	2000 ⁴⁹ , 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016

⁴⁸ Este cambio, también cambia el valor de incertidumbre elegido para el factor de emisión.

⁴⁹ El cambio no afecta directamente la estimación porque el nivel de actividad en el año 2000 es nulo. Sin embargo, se actualizó la planilla con los nuevos parámetros.

3	Se actualizó el valor de PCG para N ₂ O, cambiando el usado de 310 en el RAGEI 2016 a 265, que corresponde al valor asignado por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2013).	2000 ⁵⁰ , 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
---	--	--

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Tabla 58. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Año actualizado	Emisiones en versión anterior (Gg CO ₂ eq)	Emisiones en versión actual (Gg CO ₂ eq)	Variación
2016	131.41	30.34	-76.92%
2014	141.84	33.19	-76.60%
2012	142.61	32.76	-77.03%
2010	178.67	31.57	-82.33%
2005	218.82	9.73	-95.56%
2000	264.85	0.00	-100.00%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Las estimaciones de la serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. La fuente de información del nivel de actividad para toda la serie es la misma y fue actualizada en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a)

6.2.1.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPCC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 59. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Ácido Nítrico

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos</p> <p>Si se calculan las emisiones empleando datos de plantas individuales de ácido nítrico (método «de abajo hacia arriba»), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones con las emisiones calculadas empleando los datos nacionales de producción (método «de arriba hacia abajo»). Deben registrar los resultados e investigar todas las discrepancias no explicadas.</p> <p>Dado que las categorías de fuente del N₂O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las tendencias medidas en la concentración de N₂O atmosférico.</p>	<p>El procedimiento no es aplicable dado que se usó un factor de emisión por defecto.</p>

⁵⁰ El cambio no afecta directamente la estimación porque el nivel de actividad en el año 2000 es nulo. Sin embargo, se actualizó la planilla con los nuevos parámetros.

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Datos al nivel de planta Los compiladores del inventario deben archivar suficiente información para permitir una revisión independiente de las emisiones de la serie temporal a partir del año de base y para explicar las tendencias en las emisiones al realizar comparaciones históricas. Esto es particularmente importante en los casos en que la repetición de los cálculos es necesaria, por ejemplo, cuando un compilador cambia de un uso de valores por defecto hacia valores reales determinados al nivel de la planta.</p>	<p>El procedimiento no es aplicable dado que no se utilizó información de plantas de producción sino información de estadísticas nacionales agregadas.</p>
<p>Revisión de las mediciones directas de las emisiones Si se dispone de mediciones de N₂O al nivel de planta, los compiladores deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC. Los compiladores del inventario deben comparar los factores basados en la planta con los valores por defecto del IPCC para garantizar que los factores específicos de la planta sean razonables. Deben explicar y documentar todas las diferencias entre los factores específicos de planta y los factores por defecto y en particular, toda diferencia en las características de la planta que pueda conducir a estas diferencias.</p>	<p>El procedimiento no es aplicable dado que no se utilizó información de plantas de producción sino información de estadísticas nacionales agregadas.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 3, pp. 3.24 y 3.25

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.2.2 Subcategoría 2B7: Producción de ceniza de sosa

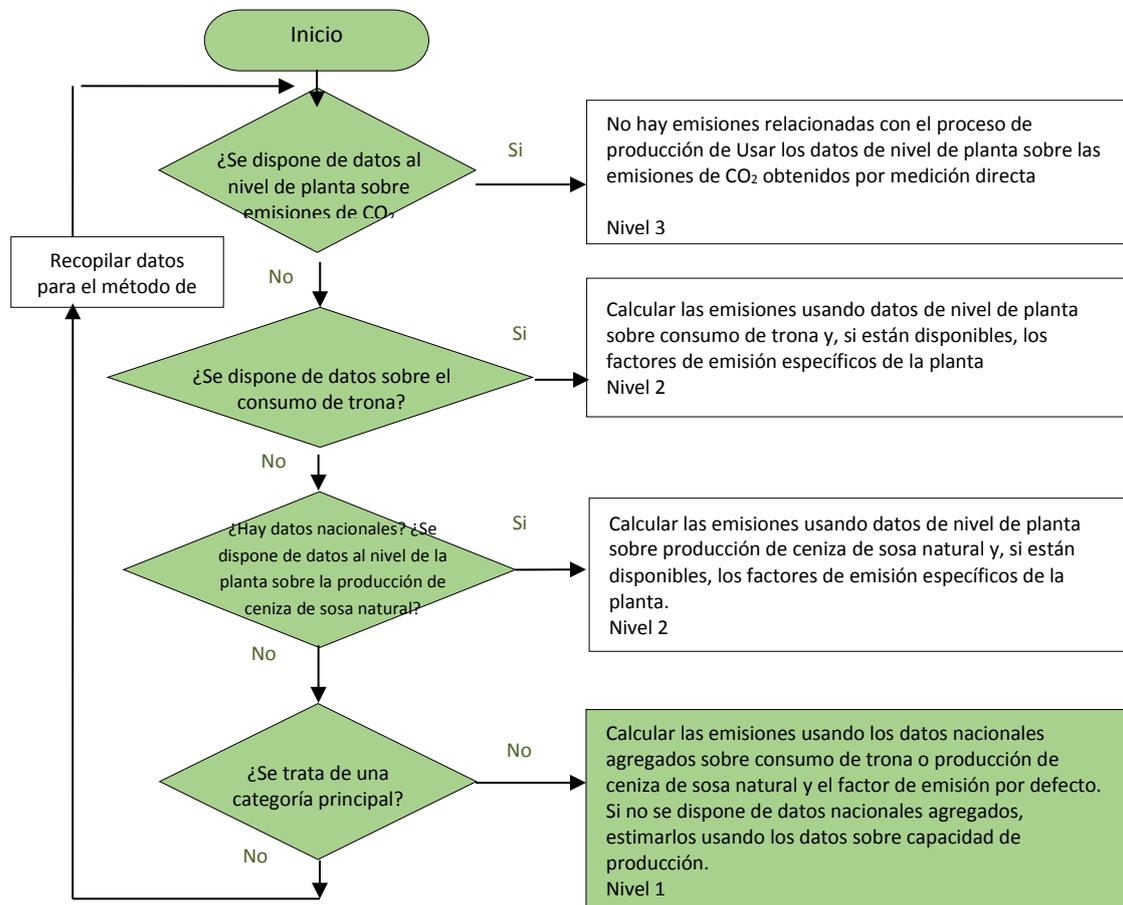
El IPCC (2006) se refiere a la subcategoría 2B7 como las vinculadas a la producción de carbonato de sodio (o ceniza de sosa), estableciendo la siguiente definición: “La ceniza de sosa (carbonato de sodio, Na₂CO₃) es un sólido cristalino blanco que se emplea como materia prima en un gran número de industrias, incluida la fabricación de vidrio, jabón y detergentes, la producción de pulpa y de papel, así como en el tratamiento de las aguas. Las emisiones de CO₂ por la producción de ceniza de sosa varían conforme al proceso de fabricación. Se pueden utilizar cuatro procesos diferentes para producir ceniza de sosa. Tres de estos procesos, el del monohidrato, el del sesquicarbonato sódico (trona) y el de la carbonización directa, son designados como procesos naturales. El cuarto, el proceso de Solvay, se clasifica como proceso sintético” (IPCC, 2006)⁵¹. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría. Cabe indicar, que en los títulos de esta sección se ha decidido utilizar el término carbonato de sodio (en lugar de ceniza de sosa) por ser el más referido en las fuentes de información nacionales.

⁵¹ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

6.2.2.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 24. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 3, p. 3.54

A nivel nacional, no se dispone de datos de las plantas sobre las mediciones directas de sus emisiones, su producción de ceniza de sosa ni su consumo de trona. Considerando que no es una categoría principal pero que sí se cuenta con datos nacionales agregados de la producción de carbonato de sodio (ceniza de sosa), la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar factores de emisión por defecto y datos de la producción nacional agregada, lo que corresponde a un nivel 1 de cálculo. El nivel metodológico se describe en la siguiente tabla.

Tabla 60. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2B7	Producción de carbonato de sodio	Ceniza de sosa producida o cantidad de mineral trona utilizado para su producción, toneladas	Producción de carbonato de sodio	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1.

Ecuación 16. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN DE CENIZA DE SOSA NATURAL – NIVEL 1
 Emisiones de CO₂ = AD x EF

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂, toneladas

AD = cantidad de trona utilizado o ceniza de sosa producida, toneladas de trona utilizado o toneladas de ceniza de sosa natural producida

EF = factor de emisión por unidad de entrada de trona o por unidad de salida de ceniza de sosa natural, toneladas de CO₂ / toneladas de trona o toneladas de CO₂ / toneladas de ceniza de sosa natural producida:

EF_{trona} = 0.097 toneladas de CO₂ / toneladas de trona,

EF_{ceniza de sosa} = 0.138 toneladas de CO₂ / toneladas de ceniza de sosa natural producida

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 3, p. 3.53. Ecuación 3.14

6.2.2.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido determinado a partir de las estadísticas nacionales. La siguiente tabla describe la información y valor utilizado.

Tabla 61. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2B7	Producción de ceniza de sosa	Ceniza de sosa producida o cantidad de mineral trona utilizado para su producción, toneladas	Producción de carbonato de sodio	71,645.43	kilogramos (kg)	Base de datos de SUNAT (SUNAT, 2021)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

El carbonato de sodio es un insumo químico fiscalizado por ley y actualmente la INIQBF de la SUNAT cuenta con el registro sobre su producción a partir del año 2014. El dato nacional utilizado es la producción de carbonato de sodio.

Cabe indicar que esta información se vincula también a la subcategoría de otros usos de carbonato de sodio, donde se utiliza para calcular el consumo local.

6.2.2.3 Factores de emisión y de conversión

El factor de emisión por defecto utilizado en el presente RAGEI es de 1.138, que es el valor por defecto del IPCC por unidad de salida de ceniza de sosa natural producida. En la siguiente tabla se muestran los detalles del mencionado factor de emisión basado en la producción de carbonato de sodio (ceniza de sosa).

Tabla 62. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂	0.138	toneladas de CO ₂ / toneladas de	D	Aplica por defecto en un nivel 1, cuando se utiliza como dato nacional la producción de ceniza de sosa

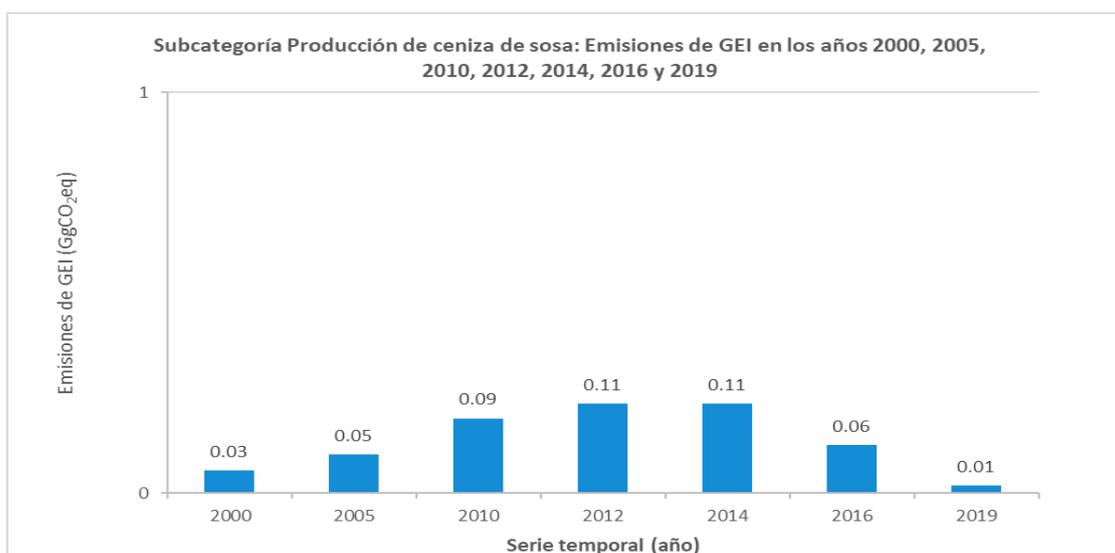
para la producción de ceniza de sosa		ceniza de sosa producida		Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3, p. 3.53
--------------------------------------	--	--------------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PR ODUCE)

6.2.2.4 Análisis de resultados

Las emisiones de CO₂ de la producción de ceniza de sosa se estimaron fueron en el año 2019 igual a 0.01 Gg de CO₂ eq. En relación con el año 2016, las emisiones presentan un disminución de 84 % y en relación con el año 2000, de 65 %. Para todo el periodo el valor máximo alcanzado es de 0.11 Gg de CO₂ eq. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

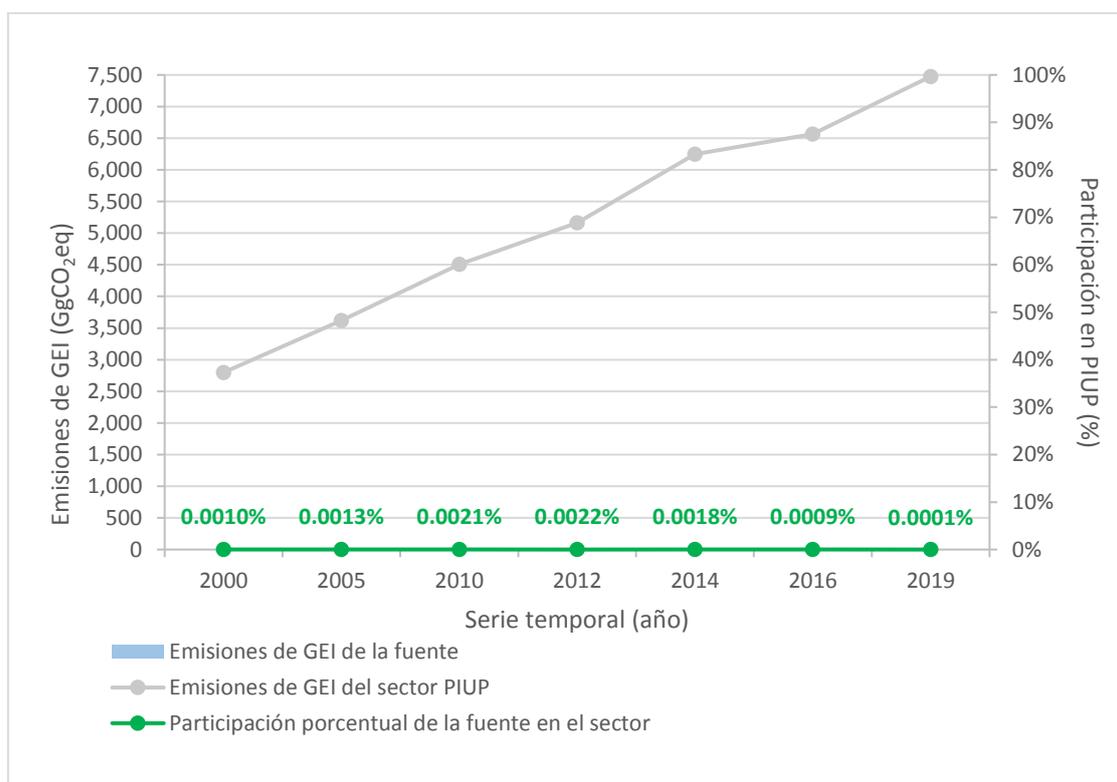
Figura 25. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La subcategoría de producción de ceniza de sosa representa en todos los años valores muy bajos de participación en las emisiones totales del sector PIUP, que oscilan entre 0.0001 % (en el año 2019) y 0.0022 % (en el año 2012) como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 26. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.2.2.5 Análisis de incertidumbre

Para determinar la incertidumbre de esta subcategoría se han utilizado los valores por defecto recomendados por Directrices del IPPC de 2006⁵². Éstas señalan que la incertidumbre del factor por defecto es insignificante ya que éste proviene de un balance estequiométrico, por tanto, el valor utilizado para el análisis es igual a 0 % (ver siguiente tabla). Cuando las directrices señalaban varios valores para considerar en la incertidumbre (en función a las hipótesis asumidas para el factor de emisión o el dato de actividad), se aplicó la regla B de combinación que describen las OBP2000⁵³.

Tabla 63. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

Incertidumbre (±)	Descripción	Nivel
0 %	Factor de emisión por defecto si se supone una pureza de 100 por ciento	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, pp. 3.35, 3.36

Por otro lado, el valor utilizado para la incertidumbre del dato de actividad es igual a ± 5 % que recomiendan las Directrices del IPPC de 2006 cuando no se dispone de información (ver siguiente tabla).

⁵² Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, pp. 3.35, 3.36

⁵³ OBP2000, Capítulo 6, Ecuación 6.4, p 6.13

Tabla 64. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

Incertidumbre (±)	Descripción	Nivel
5 %	Datos de la actividad cuando no se dispone de información	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3, pp. 3.35, 3.36

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a ± 5 %, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es nula (ver siguiente tabla).

Tabla 65. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Ceniza de Sosa

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A		B	E	F	G	M
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2	Procesos Industriales y uso de productos					
---	---	--	--	--	--	--

2B	Industria química					
2B7	Producción de Ceniza de Sosa	CO ₂	5.00%	0.00%	±5.00%	±0.00%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Los valores utilizados pueden mejorar si se someten a evaluación experta, sobre todo para la incertidumbre del dato de actividad para la cual se recomienda consultar con representantes de los organismos nacionales que registran la información sobre la producción de carbonato de sodio (en este caso SUNAT). Es importante considerar que hay una incertidumbre adicional en la serie de tiempo para los años de los cuales no se tuvo información sobre la producción de carbonato de sodio y se completó la serie asumiendo una relación constante en el tiempo. Para estos años la incertidumbre de las estimaciones sería mayor.

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas "Incertidumbre – resultados" e "Incertidumbre – valores" en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.2.2.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Las estimaciones de la serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, lo que ocurre sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

Los datos para los años 2014, 2016 y 2019 se obtuvieron de la base de datos del sistema para el control de bienes fiscalizados de la SUNAT. Para obtener datos de producción de los otros años se asumió una relación constante en el tiempo entre la producción y el consumo local de carbonato de sodio, la cual fue calculada en 0.0092 a partir de los valores del año 2014 de producción, exportación e importación de amoníaco. El consumo local se consideró como el resultado de la suma de la producción y la importación menos la exportación.

6.2.2.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.3 Categoría 2C: Industria de los metales

6.3.1 Subcategoría 2C1: Producción de Hierro y Acero

El IPCC (2006) se refiere a la subcategoría 2C1 como las vinculadas a la producción de hierro y acero, estableciendo la siguiente definición: “El dióxido de carbono es el gas predominante emitido por la producción de hierro y acero. Las fuentes de las emisiones de dióxido de carbono incluyen las de agentes reductores que contienen carbón, tales como coques y carbón en polvo y de minerales tales como piedra caliza y dolomita añadida” (IPCC, 2006)⁵⁴. El presente reporte describe las estimaciones de las emisiones de dióxido de carbono y de metano de esta subcategoría, en ambos casos aplicando un nivel metodológico 1.

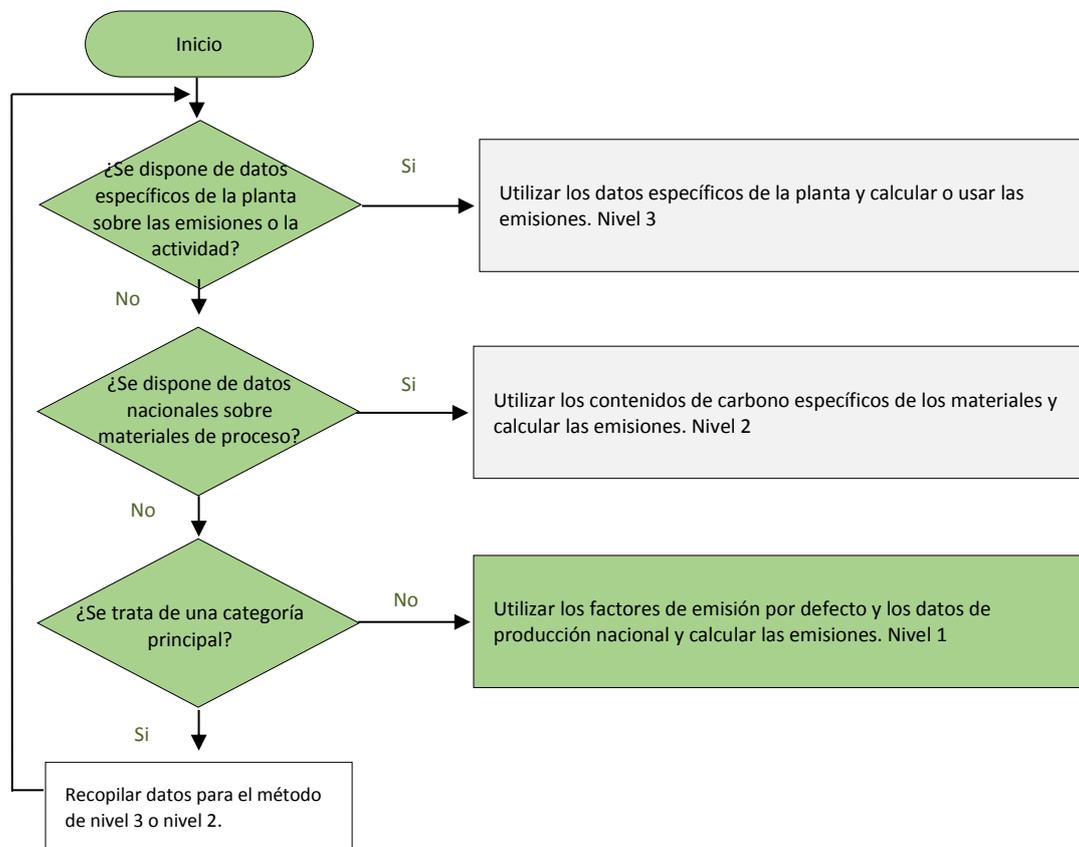
6.3.1.1 Método de cálculo

Nivel metodológico para las emisiones de CO₂

⁵⁴ Directrices del IPPC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

El método de cálculo utilizado para la estimación de las emisiones de dióxido de carbono por la producción de hierro y acero es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 27. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.21

Aún en el nivel de cálculo menos exigente (nivel 1), la estimación requiere de datos nacionales sobre producción de hierro y acero diferenciados en etapas y tecnologías. Considerando que no es una categoría principal y dado que a nivel nacional no se cuenta con un sistema que registre información de las plantas sobre sus emisiones o su actividad ni tampoco se tienen datos nacionales sobre producción de hierro y acero diferenciados en etapas y tecnologías, se decidió optar por el nivel metodológico 1 (ver siguiente tabla).

Tabla 66. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2C1	Producción de hierro y acero	Producción de acero (crudo) por tipo de tecnología (EAF, OHF, BOF), toneladas	Producción de Acero en hornos de arco eléctrico – EAF	1
			Producción de Acero en hornos de reverbero – OHF	
			Producción de Acero en hornos básicos de oxígeno – BOF	
			Producción de acero (crudo)	

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
			Cantidad de chatarra de acero utilizada para la producción de acero	
		Cantidad de producción de arrabio (hierro producido en alto horno) no convertido en acero, toneladas	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) que no es convertido a acero	
		Cantidad de hierro directamente reducido producido, toneladas	Producción de hierro directamente reducido (DRI)	
		Cantidad de pelets producidos, toneladas	Producción de peletizado de concentrado de Hierro	
		Cantidad de sinterizado producido, toneladas	Producción de sinterizado de concentrado de Hierro	
		Cantidad de producción de arrabio (hierro producido en alto horno) convertido en acero por EAF, toneladas	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) que posteriormente es convertido a acero por EAF ⁵⁵	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

El nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto y datos nacionales de producción. Para obtener los datos nacionales, en el marco de la elaboración del RAGEI 2019, se realizaron solicitudes de información a las principales empresas de producción de hierro y acero. En tal sentido, la aplicación de un nivel metodológico superior hubiera implicado una recopilación de información más compleja que depende de la voluntad de reportar de las empresas. A continuación, se detallan las ecuaciones que se emplearon para las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1.

⁵⁵ Se ha incorporado este dato durante el RAGEI 2019, debido a que se reportó que se utilizó hierro de alto horno en la producción de acero por EAF, y el factor de emisión por defecto del EAF asume que es cero.

Ecuación 17. Emisiones de CO₂, Nivel 1 – Subcategoría Producción de Hierro y Acero

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO (NIVEL 1)

$$E_{CO_2, \text{ no energía}} = BOF \times EF_{BOF} + EAF \times EF_{EAF} + OHF \times EF_{OHF}$$

Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.22, Ecuación 4.4

Ecuación 18. Emisiones de CO₂ del DRI, Nivel 1 – Subcategoría Producción de Hierro y Acero

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO (NIVEL 1)

Hierro reducido directo: $E_{CO_2, \text{ no energía}} = DRI \times EF_{DRI}$

Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.23, Ecuación 4.6

Donde:

$E_{CO_2, \text{ no energía}}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

BOF= cantidad de acero crudo producido en BOF, toneladas

EAF= cantidad de acero crudo producido en EAF, toneladas

OHF= cantidad de acero crudo producido en OHF, toneladas

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

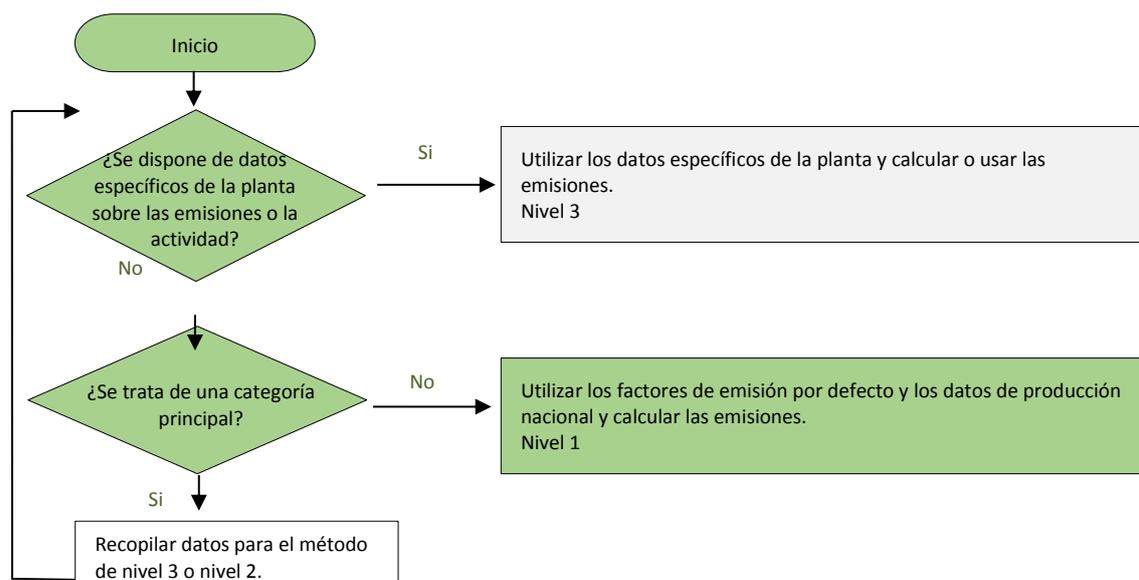
EF_x = factor de emisión, toneladas de CO₂/tonelada de x producido

Como se observa en las ecuaciones anteriores, se considera variables referidas a la cantidad de acero crudo producido en BOF y cantidad de acero crudo producido en OHF. Para el caso del presente RAGEI, no se ha reportado acero producido con este tipo de tecnologías, por lo cual los valores de producción para ambos casos son cero. Es así, que las emisiones de CO₂, dependen exclusivamente de la producción de acero en hornos de Arco Eléctrico (EAF). Sin embargo, es preciso indicar que sí se reportó que se produjo hierro de alto horno, por lo que debe ser considerado en la estimación de las emisiones, aunque sea luego convertido en acero por EAF. El factor de emisión por defecto del EAF asume que el 100 % de su carga metálica es chatarra por lo que excluye la estimación de las emisiones de la producción de hierro de alto horno.

Nivel metodológico para las emisiones de CH₄

El método de cálculo utilizado para la estimación de las emisiones de metano por la producción de hierro y acero es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

Figura 28. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.22

Aún en el nivel de cálculo menos exigente (nivel 1), la estimación requiere de datos nacionales sobre producción de hierro y acero diferenciados en etapas. Considerando que no es una categoría principal y dado que a nivel nacional no se cuenta con un sistema que registre información de las plantas sobre sus emisiones o su actividad, se decidió optar por el nivel metodológico 1 (ver siguiente tabla).

Tabla 67. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CH₄ - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Nivel
2C1	Producción de hierro y acero	Cantidad de hierro producido en alto horno (arrabio convertido y no convertido en acero) ⁵⁶ , toneladas	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) total (convertido y no convertido en acero)	tonelada (t)	1
		Cantidad de hierro directamente reducido producido, toneladas (se repite como nivel de actividad para CH ₄)	Producción de hierro directamente reducido (DRI)	tonelada (t)	
		Cantidad de sinterizado producido, toneladas (se repite como nivel de actividad para CH ₄)	Producción de sinterizado de concentrado de Hierro	tonelada (t)	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

El nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto y datos nacionales de producción. Para obtener los datos nacionales, en el marco de la elaboración del RAGEI 2019 se realizaron solicitudes de información a las principales empresas de producción de hierro y acero. En tal

⁵⁶ El IPCC (2006), no brinda factor de emisión por defecto para este nivel de actividad.

sentido, la aplicación de un nivel metodológico superior hubiera implicado una recopilación de información más compleja que depende de la voluntad de reportar de las empresas. La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de metano en el nivel 1.

Ecuación 19. Emisiones de CH₄ del DRI, Nivel 1 – Subcategoría Producción de Hierro y Acero

EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 1)

$$\text{Producción de hierro reducido directo: } E_{\text{CH}_4, \text{ no energía}} = \text{DRI} \times \text{EF}_{\text{DRI}}$$

Donde:

$E_{\text{CH}_4, \text{ no energía}}$ = emisiones de CH₄ a ser declaradas en el Sector IPPU, kg

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

EF_{DRI} = factor de emisión, kilogramos de CH₄/tonelada de hierro reducido directo producido

Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.26, Ecuación 4.14

Si bien se tiene información sobre el hierro producido en alto horno, no se cuenta con factor de emisión para calcular sus emisiones de metano.

6.3.1.2 Datos de actividad

Al no haber información disponible en estadísticas nacionales sobre la producción de acero, se realizó la recopilación de información con las principales empresas⁵⁷. Para la identificación de empresas se tomó como punto de partida la lista de empresas identificadas en el marco del RAGEI 2014⁵⁸, la cual fue confirmada en base a un listado de Participación de las Principales Empresas en la producción según clase CIUU proporcionada por el OGEIEE⁵⁹ en el marco del levantamiento de información para la elaboración del RAGEI 2016. Se mantiene el alcance en el RAGEI 2019.

Se calcula que las empresas consideradas en la estimación del RAGEI representan más del 80 % de las ventas del año 2015 que registra la SUNAT⁶⁰, para las industrias básicas de hierro y acero (CIUU 2410, cuarta revisión) y de la fundición de hierro y acero (CIUU 2431, cuarta revisión).

Nivel de actividad para las emisiones de CO₂

El nivel de actividad ha sido obtenido a partir de datos nacionales brindados por las empresas que fueron recopilados en el marco del RAGEI. La siguiente tabla describe la información utilizada.

⁵⁷ El reporte de las empresas se mantiene en confidencialidad y por tal motivo en este documento no se mencionan los nombres de las empresas ni los datos reportados. Sin embargo, los medios de verificación están archivados en la fuente citada como: *Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2016 (PRODUCE, 2017)*.

⁵⁸ La identificación, se realizó a partir de la revisión del directorio de empresas registradas en actividad en la SUNAT para el año 2015 con CIUU 2710 y 2731 de la tercera revisión, seleccionando las de mayores ventas para el envío de las solicitudes de información. Dicha identificación, se encuentra disponible en el documento: *Identificación de empresas con mayores ventas en el año 2015 en el marco del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de la categoría Procesos Industriales y Usos de Productos*. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales del Viceministerio de MYPE e Industria).

⁵⁹ Ídem 66

⁶⁰ Directorio de empresas del Registro Único de Contribuyentes de SUNAT (2015).

Tabla 68. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación para CO₂ del año 2016 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2C1	Producción de hierro y acero	Producción de acero (crudo) por tipo de tecnología (EAF, OHF, BOF), toneladas	Producción de Acero en hornos de arco eléctrico – EAF	1,224,850.07	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
			Producción de Acero en hornos de reverbero – OHF	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
			Producción de Acero en hornos básicos de oxígeno – BOF	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
			Producción de acero (crudo)	1,224,850.07	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
			Cantidad de chatarra de acero utilizada para la producción de acero	1,243,199.65	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de producción de arrabio (hierro producido en alto horno) no convertido en acero, toneladas	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) que no es convertido a acero	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de hierro directamente reducido producido, toneladas	Producción de hierro directamente reducido (DRI)	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de pelets producidos, toneladas	Producción de peletizado de concentrado de Hierro	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de sinterizado producido, toneladas	Producción de sinterizado de concentrado de Hierro	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Los valores de producción de acero por tipo de tecnología son multiplicados factores de emisión por defecto para dióxido de carbono.

Los datos nacionales para describir el nivel de actividad de la estimación de dióxido de carbono en la producción de hierro y acero incluyen:

- Producción de Acero en hornos de reverbero – OHF
- Producción de Acero en hornos básicos de oxígeno – BOF
- Producción de Acero en hornos de arco eléctrico – EAF
- Producción de acero (crudo)
- Cantidad de chatarra de acero utilizada para la producción de acero

- Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) que no es convertido a acero
- Producción de hierro directamente reducido (DRI)
- Producción de peletizado de concentrado de Hierro
- Producción de sinterizado de concentrado de Hierro

Sin embargo, de toda esta información las empresas que respondieron a las solicitudes de información reportaron producción cero para el caso de hierro de alto horno y producción de peletizado. Para los casos de producción de acero en hornos de OHF y BOF, durante el levantamiento de información realizada en el marco del RAGEI 2014, que fue realizado en el año 2016, se identificó que dichas empresas no utilizan dichas tecnologías, por lo que la producción utilizando dichas tecnologías es cero. Cuando no se tuvo información sobre la tecnología usada en alguna empresa, debido a que no reporta, se supuso que un porcentaje de 50 % correspondía a hornos de inducción⁶¹ y un 50 % de hornos de arco eléctrico. Los datos procesados se presentan como valores agregados en la Tabla 68 siguiente tabla.

Nivel de actividad para las emisiones de CH₄

El nivel de actividad ha sido obtenido a partir de datos nacionales brindados por las empresas que fueron recopilados en el marco del RAGEI⁶². La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 69. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación para CH₄ del año 2016 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2C1	Producción de hierro y acero	Cantidad de hierro producido en alto horno (arrabio convertido y no convertido en acero) ⁶³ , toneladas	Cantidad de Hierro de alto horno (arrabio) total (convertido y no convertido en acero)	112,945.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de hierro directamente reducido producido, toneladas (se repite como nivel de actividad para CH ₄)	Producción de hierro directamente reducido (DRI)	0.00	tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019 (PRODUCE, 2022a)
		Cantidad de sinterizado producido, toneladas (se repite	Producción de sinterizado de concentrado de Hierro		tonelada (t)	Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2019

⁶¹ No se les vincula generación de GEI.

⁶² El reporte de las empresas se mantiene en confidencialidad y por tal motivo en este documento no se mencionan los nombres de las empresas ni los datos reportados. Sin embargo, los medios de verificación están archivados en la fuente citada como: Archivo de niveles de actividad RAGEI PIUP 2016 (PRODUCE, 2017)

⁶³ El IPCC (2006), no brinda factor de emisión por defecto para este nivel de actividad.

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
		como nivel de actividad para CH ₄)				(PRODUCE, 2022a)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Los valores de producción de acero por tipo de tecnología son multiplicados factores de emisión por defecto para metano.

Los datos nacionales para describir el nivel de actividad de la estimación de metano en la producción de hierro y acero incluyen la producción de hierro directamente reducido (DRI) y la producción de sinterizado de concentrado de Hierro. Asimismo, se menciona en las Directrices del IPCC de 2006 que también es un dato de actividad la cantidad de hierro producido en alto horno, sin embargo, no se describe factor de emisión por defecto para la estimación, es por tanto que, al no contar con la alternativa de un factor de emisión nacional y tampoco con empresas que hayan reportado la producción en hierro de alto horno, esta estimación no se realiza.

En relación con la producción de hierro directamente reducido (DRI) y a la producción de sinterizado de concentrado de Hierro, dichos datos también fueron solicitados a las empresas. Sin embargo, ninguna reportó sinterizado de hierro, por lo cual no se considera dicha fuente de emisión en las estimaciones. Los datos utilizados se presentan en la tabla anterior.

6.3.1.3 Factores de emisión y conversión

Factores para las emisiones de CO₂

Los factores de emisión y de conversión utilizados se describen en la siguiente tabla.

Tabla 70. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados (para CO₂) - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la fabricación de acero en horno de arco eléctrico - EAF	0.08	toneladas de CO ₂ / toneladas de acero producido	D	Aplica por defecto en un nivel 1. Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 3, p. 4.27
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la fabricación de acero con promedio global	1.06	toneladas de CO ₂ / toneladas de acero producido	D	Aplica por defecto en un nivel 1. Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 3, p. 4.27
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la producción de hierro directamente reducido - DRI	0.70	toneladas de CO ₂ / toneladas de hierro producido	D	Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 3, p. 4.27

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Factores para las emisiones de CH₄

Los factores de emisión y de conversión utilizados se describen en la siguiente tabla.

Tabla 71. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados (para CH₄) - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Dato	Valor	Unidad	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CH ₄ para la producción de sinterizado	0.07	Kg de CH ₄ / tonelada de sinter producido	Aplica por defecto en un nivel 1. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 4.27
Factor de emisión por defecto de CH ₄ para la producción de hierro directamente reducido	1.00	Kg de CH ₄ / TJ (sobre una base calórica neta)	Aplica por defecto en un nivel 1. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 4.27
Factor de emisión por defecto de CH ₄ para la producción de hierro directamente reducido - DRI	0.0125	Kg de CH ₄ / tonelada de DRI producido	Se calcula a partir del factor de emisión por defecto en Kg de CH ₄ / TJ con los datos de Consumo de energía por defecto de gas natural para la producción de DRI y Contenido de carbono por defecto del gas natural para convertirlo a Kg de CH ₄ / tonelada de DRI producido. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, pp. 4.27 y 4.28
Consumo de energía por defecto de gas natural para la producción de DRI	12.50	GJ de gas natural / tonelada de DRI producido	Valor indicado por Directrices del IPPC de 2006 para el gas natural. Se utiliza para convertir el factor de emisión del DRI. Fuente: Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 4.28
Contenido de carbono por defecto del gas natural	15.30	kg de C / GJ de Gas Natural	Valor indicado por Directrices del IPPC de 2006 para el gas natural. Se utiliza para convertir el factor de emisión del DRI. Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Vol. 3, p. 4.28.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

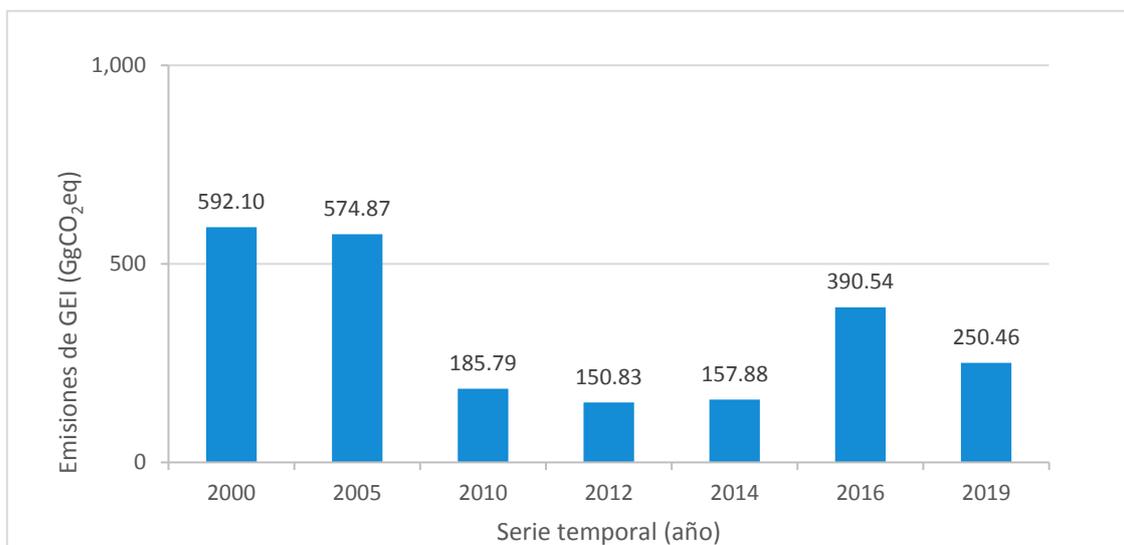
Se menciona en las Directrices del IPPC de 2006 que los hornos de inducción no generan emisiones apreciables de GEI. Por tanto, considera que no hay emisiones (Directrices del IPPC de 2006. Vol. 3, p. 4.32).

6.3.1.4 Análisis de resultados

Las emisiones de CO₂ eq de la producción de hierro y acero para el año 2019 se estiman son de 250.46 Gg CO₂ que corresponde solo a dióxido de carbono⁶⁴. A diferencia de años anteriores las emisiones de metano fueron nulas. En promedio, la tendencia desde el año 2000 al año 2019 ha sido decreciente. Con relación al año 2016, las emisiones se han reducido en 36 %. Por otro lado, con relación al año 2000, las emisiones se han reducido en 58 %. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para la serie de tiempo evaluada.

⁶⁴ El cálculo de las emisiones de esta subcategoría según IPCC 2006, incluye las emisiones de metano y de dióxido de carbono.

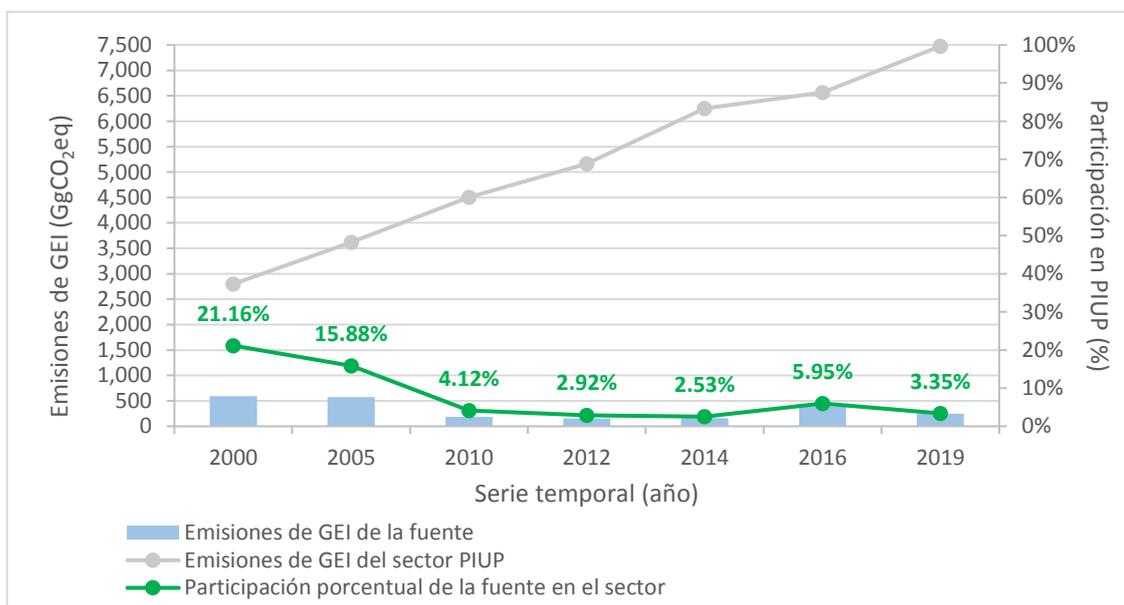
Figura 29. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La subcategoría de producción de hierro y acero, al igual que sus emisiones, ha presentado una reducción de su participación en las emisiones totales del sector PIUP que se redujo de 21.16 % en el año 2000 a 3.35 % en el 2019 (ver siguiente figura).

Figura 30. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Hierro y Acero



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.3.1.5 Análisis de incertidumbre

Tanto para las emisiones de CO₂ como para las de CH₄, se utilizan los mismos valores por defecto para la estimación de las incertidumbres. Al factor de emisión se le atribuye un valor de incertidumbre de ± 25 % en un nivel 1 (ver siguiente tabla).

Tabla 72. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Incertidumbre (±)	Descripción	Nivel
25 %	Factores de emisión por defecto	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.33

Al dato de actividad se le atribuye un valor de incertidumbre de $\pm 10\%$ que corresponde a los datos nacionales de producción (Ver siguiente tabla).

Tabla 73. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Incertidumbre (±)	Descripción	Nivel
10 %	Datos nacionales de producción	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.33

Para esta subcategoría no se pudo realizar la estimación de incertidumbre para las emisiones CH₄ dado que el valor de las emisiones calculadas es igual a cero para el año 2019.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de CO₂ de esta subcategoría es igual a $\pm 26.93\%$ y que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.02\%$. La siguiente tabla presenta los valores estimados de incertidumbre para esta subcategoría para dióxido de carbono.

Tabla 74. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	A Categoría del IPCC	B Gas	E	F	G	M
			Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2	Procesos Industriales y uso de productos					
---	---	--	--	--	--	--

2C	Industria de los metales					
2C1	Producción de Hierro y Acero	CO ₂	10.00%	25.00%	$\pm 26.93\%$	$\pm 0.02\%$

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas "Incertidumbre – resultados" e "Incertidumbre – valores" en la Planilla de Cálculo del año 2016. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.3.1.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016, actualizaron los valores calculados en el RAGEI PIUP 2016 en todos los años. Esto debido a que se actualizaron los datos nacionales incorporando el reporte de una empresa. La siguiente tabla describe los cambios en los datos nacionales.

Tabla 75. Información actualizada en la serie temporal - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

N°	Descripción de la actualización	Años que actualiza
1	Se incrementó la información sobre el nivel de actividad de la producción de hierro y acero debido a que se incluyó información reportada por una empresa que reportó en el marco de la recopilación del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a), y que no había reportado en RAGEI anteriores. Antes, se utilizaban sus memorias anuales que no tenían información sobre el nivel de actividad completa.	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
2	Se cambió la tecnología asumida para una de las empresas que reportó que no había reportado en los procesos de RAGEI anteriores, eliminando el supuesto de que, cuando se desconoce la tecnología, el 50 % de la producción correspondía a hornos de inducción y un 50 % de hornos de arco eléctrico, por el dato reportado por la empresa en el marco del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a).	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
3	Se actualizó el valor de PCG para CH ₄ , cambiando el usado en el RAGEI 2016, de 21 a 28, que corresponde al valor asignado por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2013).	2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016
4	Dado que, durante la recopilación de información de las empresas para el RAGEI 2019 (PRODUCE, 2022a) una de ellas reportó haber producido hierro de alto horno que posteriormente sería convertido en acero por EAF, se agregó al cálculo la estimación de las emisiones producidas por la producción de hierro de alto horno. El factor de emisión por defecto para el proceso EAF no considera esas emisiones pues asume que el 100 % de la carga metálica que utiliza es chatarra (IPCC 2006, Volumen 3, Capítulo 4, Cuadro 4.1), lo cual no sería el caso de esta empresa. Este ajuste actualizó los resultados de las emisiones de esta subcategoría para los años 2016 y 2019. El cálculo de las emisiones por la producción de hierro utiliza el factor de emisión que indica el IPCC 2006 de 1.35. ⁶⁵	2016

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Tabla 76. Actualización de las emisiones de GEI de la serie temporal - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Año actualizado	Emisiones en versión anterior (Gg CO ₂ eq)	Emisiones en versión actual (Gg CO ₂ eq)	Variación
2016	99.56	390.54	292.26%
2014	152.99	157.88	3.19%
2012	150.73	150.83	0.06%
2010	184.53	185.79	0.68%
2005	196.48	574.87	192.59%
2000	253.85	592.10	133.25%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

⁶⁵ Esta actualización se realizó en el marco del proceso de garantía de la calidad, el cual aún está en curso.

Las estimaciones de la serie de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 utilizan la misma metodología que la del año 2019. En lo posible, se utilizan las mismas fuentes de información, sin embargo, cuando se presentan vacíos de información, lo que ocurre sobre todo en años más lejanos, estos son completados utilizando la información disponible de otros años e información complementaria que pueda describir el comportamiento del nivel de actividad.

La información del nivel utilizada proviene de las empresas ya sea reportada en el marco de los RAGEI anteriores como en el marco del RAGEI 2019 o de publicaciones.

6.3.1.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 77. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Hierro y Acero

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Revisión de los factores de emisión y de los contenidos de carbono</p> <p>Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión y los contenidos de carbono agregados nacionalmente con los factores y contenidos de carbono por defecto del IPPC, con el fin de determinar si el valor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los valores nacionales y los valores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento porque no se calcularon factores de emisión nacionales.</p>
<p>Verificación de los datos de actividad específicos de la planta</p> <p>Para los datos específicos de la planta, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías.</p> <p>Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor altos estándares de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.</p>	<p>Se verificaron los datos de actividad en relación a los datos entre plantas y entre años para identificar valores incoherentes. No se evaluaron las condiciones tecnológicas ni operativas de las plantas.</p>
<p>Revisión de expertos</p> <p>En un proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del hierro y del acero. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.</p> <p>Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.</p>	<p>Se solicitó información sobre el nivel de actividad a las organizaciones comerciales, aunque no se involucraron en la revisión de los métodos.</p>

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Verificación de los datos de la actividad</p> <p>Para todos los niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2, Capítulo 2 (Combustión estacionaria del Sector Energía), para garantizar que las emisiones provenientes de los agentes reductores y de los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.</p> <p>Los compiladores deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.</p> <p>Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones agregadas al nivel de plantas con los totales de la industria.</p>	<p>Las verificaciones comparativas con el volumen 2 de las Directrices del IPPC de 2006 (sector Energía) no se realizaron, por estar fuera del alcance del sector MYPE e Industria. Se recomienda sea parte de un control de calidad posterior al revisar el inventario integrado de todos los sectores para evitar doble contabilidad y omisiones.</p>

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, pp. 4.33 y 4.34

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.3.2 Subcategoría 2C5: Producción de Plomo

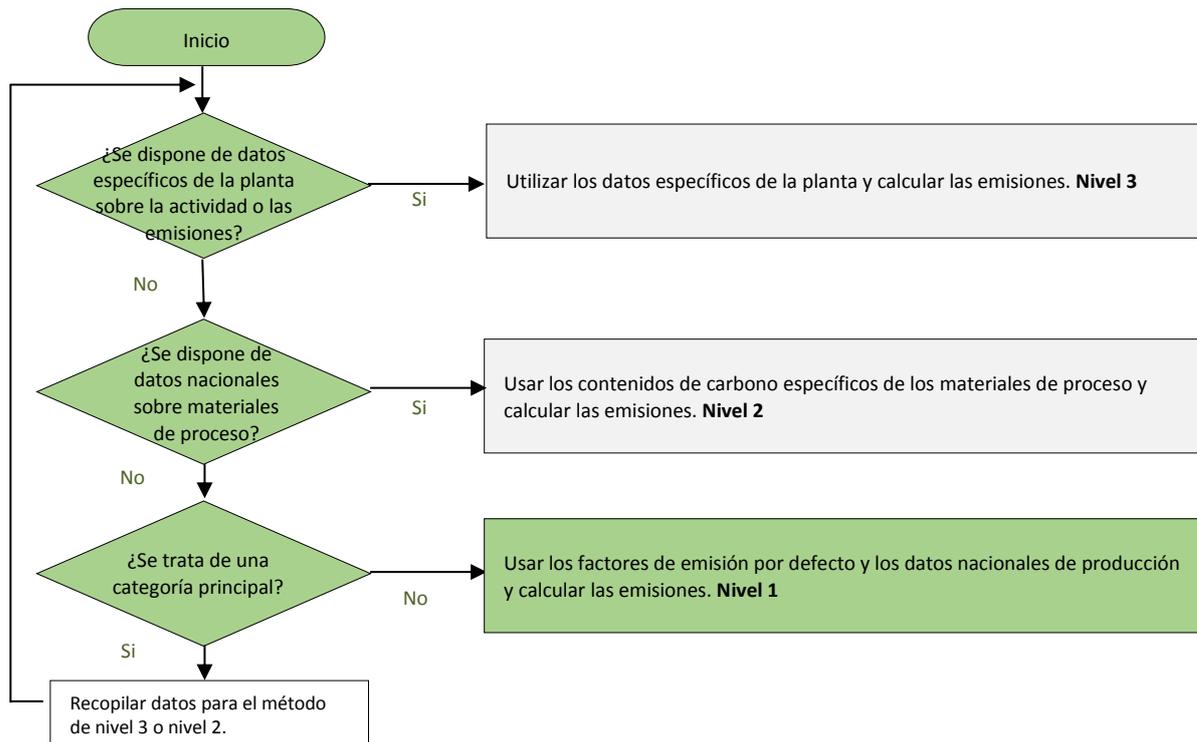
El IPCC (2006) se refiere a la subcategoría 2C5 como las vinculadas a la producción de plomo y le asigna la siguiente definición: “La producción de plomo cubre la producción mediante el proceso de aglomeración/fundición, como así también mediante la fundición directa. Las emisiones de dióxido de carbono son el resultado del uso de una variedad de agentes reductores basados en carbono en ambos procesos de producción” (IPCC, 2006)⁶⁶. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría aplicando un nivel metodológico 1.

6.3.2.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

⁶⁶ Directrices del IPPC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Figura 31. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Plomo



Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.80

A nivel nacional, no se dispone de datos de las plantas de producción de plomo sobre sus emisiones ni sobre su actividad. Tampoco se dispone de datos nacionales sobre los materiales del proceso, por lo que, considerando que no es una categoría principal pero que sí se cuenta con datos nacionales agregados sobre producción mineral metálica de plomo, la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar para el presente RAGEI un nivel 1 de cálculo que usa factores de emisión por defecto y datos de producción nacional agregada. El nivel metodológico 1 se describe en la siguiente tabla.

Tabla 78. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Plomo

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2C5	Producción de plomo	Producción de plomo por fuente (primario y secundario) y por tipo de proceso (Imperial Smelting Furnaces, fundición directa)	Producción minera de Plomo (fundido)	1
			Producción minera de Plomo (refinado)	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La ecuación para estimar las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1 corresponde a la siguiente ecuación.

Ecuación 20. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Plomo

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PLOMO

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{DS} \times \text{EF}_{\text{DS}} + \text{ISF} \times \text{EF}_{\text{ISF}} + \text{S} \times \text{EF}_\text{S}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ por la producción de plomo, toneladas
 DS = cantidad de plomo producido por fundición directa, toneladas
 EF_{DS} = factor de emisión para la fundición directa, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo
 ISF = cantidad de plomo producido en hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas
 EF_{ISF} = factor de emisión para los hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo
 S = cantidad de plomo producido a partir de materiales secundarios, toneladas
 EF_S = factor de emisión para los materiales secundarios, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo
 Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.80. Ecuación 4.32

6.3.2.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido determinado a partir de las estadísticas nacionales. La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 79. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Plomo

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2C5	Producción de plomo	Producción de plomo por fuente (primario y secundario) y por tipo de proceso (Imperial Smelting Furnaces, fundición directa)	Producción minera de Plomo (fundido)	0.00	tonelada (t)	Reporte de producción minera (MINEM, 2020)
			Producción minera de Plomo (refinado)	0.00	tonelada (t)	Reporte de producción minera (MINEM, 2020)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Como datos nacionales de esta subcategoría se ha considera la producción minera de plomo de fundición y de refinamiento. A pesar de que las emisiones de dióxido de carbono se generan durante la etapa de fundición se ha incluido la etapa de refinamiento, entendiéndose que todo producto refinado ha pasado por una fundición previa (y por lo tanto generado emisiones de dióxido de carbono). La fuente de información utilizada proviene del Ministerio de Energía y Minas, responsable de las estadísticas nacionales sobre producción minera.

No siempre esta fuente indica datos sobre fundición y refinamiento del plomo⁶⁷. En el caso del año 2019 no se reportó ninguno de estos datos y por lo tanto se ha considerado la producción de plomo como nula, tal como se presenta en la siguiente tabla.

6.3.2.3 Factores de emisión y conversión

Cuando se desconocen los procesos de producción, las Directrices del IPPC de 2006 proponen usar un factor por defecto que considera 80 % producción de plomo en hornos Imperial Smelting Furnace (ISF) y 20 % por fundición directa. Se ha asumido que uso de material secundario es nulo. Por lo tanto, considerando esto, se obtiene una ecuación adaptada como se presenta a continuación.

⁶⁷ Ver sección de análisis de resultados.

Ecuación 21. Emisiones de CO₂, Nivel 1 (ecuación adaptada) - Subcategoría Producción de Plomo

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PLOMO
 Emisiones de CO₂ = M_{Plomo} x Factor de emisión por defecto de CO₂ para la producción de plomo
 Emisiones de CO₂ = M_{Plomo} x 0.52

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ por la producción de plomo, toneladas

M_{Plomo} = masa de plomo producida (de tratamiento secundario, fundición directa y/o ISF), toneladas

El Factor de emisión por defecto de CO₂ para la producción de plomo es igual a 0.52 toneladas de CO₂ / toneladas de plomo producido (considera 80 % de ISF y 20 % de DSF, 0 % de materias primas secundarias)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4. Ecuación 4.32 (adaptada)

El factor de emisión por defecto utilizado se describe en la siguiente tabla.

Tabla 80. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Plomo

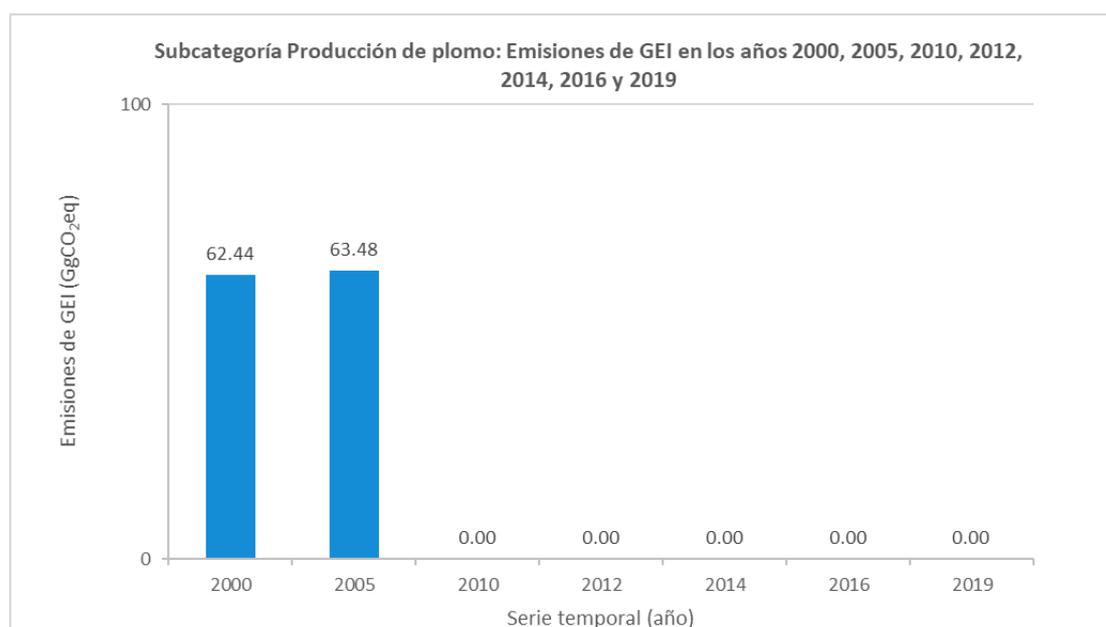
Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la producción de plomo	0.52	toneladas de CO ₂ / toneladas de plomo producido	D	Se utiliza el valor por defecto, al desconocerse las tecnologías utilizadas. Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 3, p. 4.82.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.3.2.4 Análisis de resultados

Las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de plomo se estima fueron nulas en el año 2019, dado que el nivel de actividad se consideró como nulo. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo evaluada. Las mayores emisiones se dieron en el año 2005.

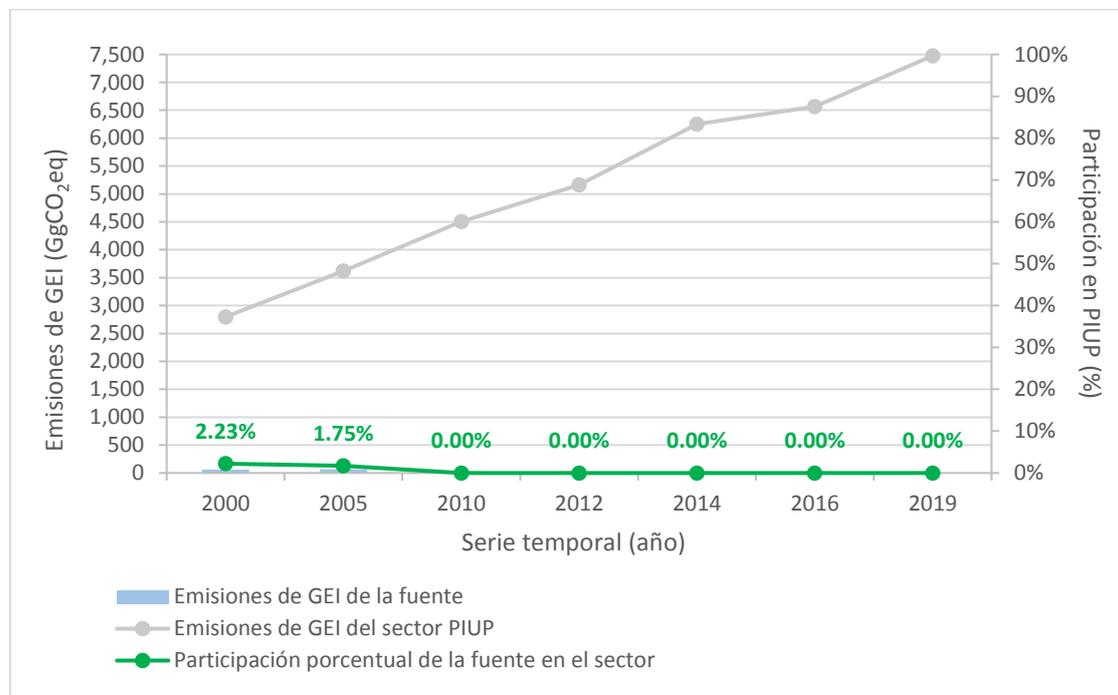
Figura 32. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Plomo



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La participación de la subcategoría de producción de plomo en las emisiones totales del sector PIUP se describe en la siguiente figura, donde se observa que la participación en el año 2019 es nula y que el mayor valor alcanzado se dio en el año 2000 (2.23 %).

Figura 33. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Plomo



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.3.2.5 Análisis de incertidumbre

Para la subcategoría producción de plomo no se pudo realizar la estimación dado que el valor de las emisiones calculadas es igual a cero para el año 2019⁶⁸.

6.3.2.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Los datos nacionales utilizados fueron los valores de producción de plomo fundido y refinado. El informante gubernamental que provee estadísticas nacionales sobre la producción minera es el Ministerio de Energía y Minas y para todos los años de la serie se han utilizado como fuentes de información sus reportes anuales. Sin embargo, solo en el año 2005 se reporta información pertinente a la estimación (se reporta plomo refinado, mas no fundido), mientras que para los otros años no hay reportes de producción de plomo fundido ni refinado. Dados

⁶⁸ En caso se realizará la estimación de incertidumbre los valores por defecto se encuentran en las Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.84.

estos casos, se considera que la producción de plomo fundido y refinado es nula en los años 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019, mientras que para el año 2000 se aplicó una extrapolación lineal con de datos conocidos de 2001 al 2008 de plomo refinado.

6.3.2.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 81. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Plomo

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Revisión de los factores de emisión Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias existentes entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativas de circunstancias diferentes.</p>	No se aplicó el procedimiento porque no se calcularon factores de emisión nacionales.
<p>Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación Para los datos específicos de la instalación, los compiladores deben revisar las incoherencias entre instalaciones para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción del plomo, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas. Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.</p>	No se aplicó el procedimiento porque no se utilizó información sobre plantas en un nivel 1.
<p>Revisión de expertos En el proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del plomo. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos. Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.</p>	No se aplicó el procedimiento ni se realizó la identificación de organizaciones industriales y comerciales.
<p>Verificación de los datos de la actividad Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2: Energía, para garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no ser contabilizadas por partida doble ni omitidas. Los compiladores del inventario deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso. Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores del inventario deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.</p>	Las verificaciones comparativas con el volumen 2 de Directrices del IPPC de 2006 (sector Energía) no se realizaron, por estar fuera del alcance del sector MYPE e Industria. Se recomienda sea parte de un control de calidad posterior al revisar el inventario integrado de todos los sectores para evitar doble contabilidad y omisiones.

Fuente: Elaborado en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.85

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.3.3 Subcategoría 2C6: Producción de Zinc

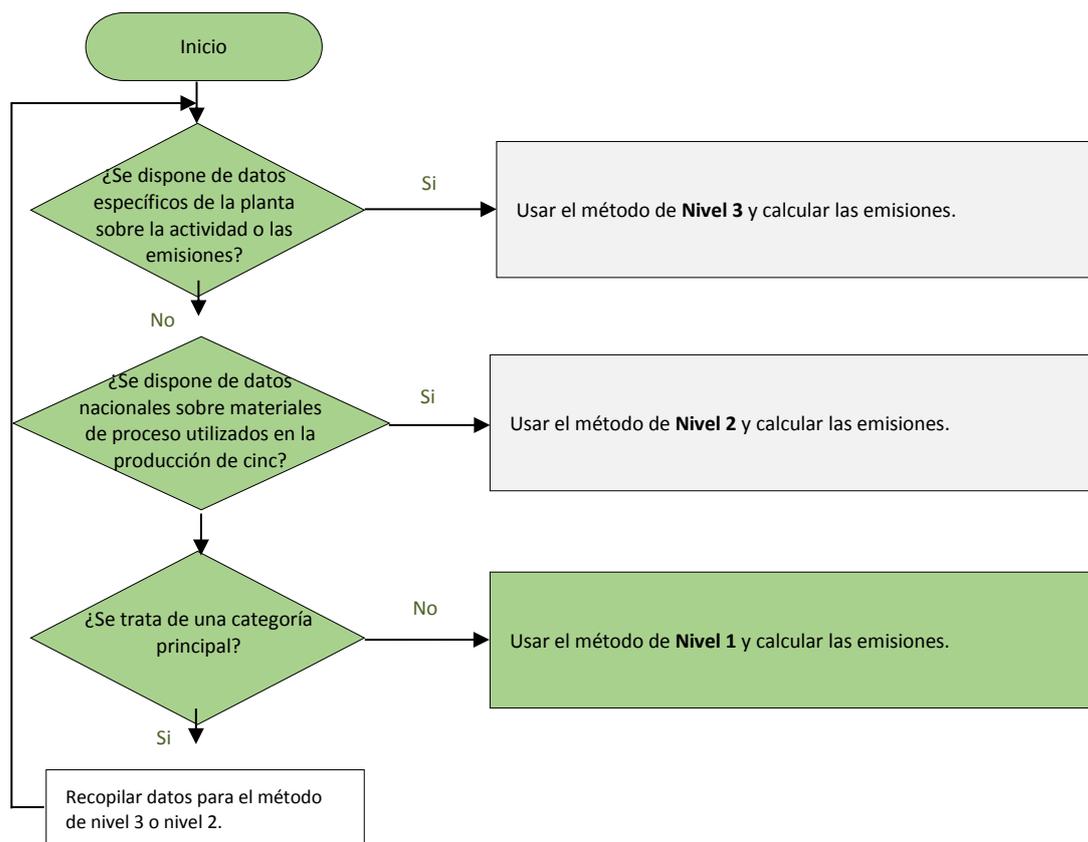
El IPCC (2006) se refiere a la subcategoría 2C6 como las vinculadas a la producción de zinc y le asigna la siguiente definición: “La producción de zinc cubre las emisiones tanto de la producción primaria de zinc a partir de mineral como de la recuperación de zinc a partir de chatarra metálica, excluyéndose las emisiones vinculadas al uso de combustibles. Tras la calcinación, el metal de zinc se produce por uno de los tres métodos siguientes: 1 – destilación electro-térmica; 2 – fundición piro-metalúrgica; 3 – electrólisis. Si se usan el método 1 o el 2, se emite dióxido de carbono (CO₂). El método 3 no provoca emisiones de dióxido de carbono. La recuperación de zinc a partir de chatarra de metal usa a menudo los mismos métodos que la producción primaria y por lo tanto puede producir emisiones de dióxido de carbono, que se incluye en esta sección” (IPCC, 2006)⁶⁹. El presente reporte describe la estimación de las emisiones de dióxido de carbono de esta subcategoría aplicando un nivel metodológico 1. Cabe indicar, que se ha preferido usar el término Zinc (en lugar de Cinc) por ser el comúnmente usado en las fuentes de información nacionales.

6.3.3.1 Método de cálculo

El método de cálculo utilizado es del nivel 1 y fue elegido en función a la disponibilidad de información tal como se describe en la siguiente figura.

⁶⁹ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Figura 34. Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Zinc



Fuente: Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.89

A nivel nacional, no se dispone de datos de las plantas de producción de zinc sobre sus emisiones ni sobre su actividad. Tampoco se dispone de datos nacionales sobre los materiales del proceso, por lo que, considerando que no es una categoría principal pero que sí se cuenta con datos nacionales agregados sobre producción mineral metálica de zinc, la aplicación del árbol de decisiones recomienda utilizar para el presente RAGEI un nivel 1 de cálculo que usa factores de emisión por defecto y datos de producción nacional agregada. El nivel metodológico 1 se describe en la siguiente tabla.

Tabla 82. Nivel metodológico aplicado para las emisiones de CO₂ - Subcategoría Producción de Zinc

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Nivel
2C6	Producción de zinc	Cantidad de cinc producido por tipo de proceso (Waelz Kiln, pirometalúrgico, electrotérmico), toneladas	Producción minera de Zinc (fundido)	1
			Producción minera de Zinc (refinado)	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La siguiente ecuación describe la estimación realizada de las emisiones de dióxido de carbono en el nivel 1.

Ecuación 22. Emisiones de CO₂, Nivel 1 - Subcategoría Producción de Zinc

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CINC (NIVEL 1)

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{Zn} \times \text{EF}_{\text{por defecto}}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ originadas por la producción de zinc, toneladas

Zn= cantidad de zinc producido, toneladas

EF_{por defecto}= factor de emisión por defecto, toneladas de CO₂/tonelada de zinc producido

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.87. Ecuación 4.33

6.3.3.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido determinado a partir de las estadísticas nacionales. La siguiente tabla describe la información utilizada.

Tabla 83. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Producción de Zinc

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2C6	Producción de zinc	Cantidad de cinc producido por tipo de proceso (Waelz Kiln, pirometalúrgico, electrotérmico), toneladas	Producción minera de Zinc (fundido)	0.00	tonelada (t)	Reporte de producción minera (MINEM, 2020)
			Producción minera de Zinc (refinado)	356,925.28	tonelada (t)	Reporte de producción minera (MINEM, 2020)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

En un nivel 1, se puede utilizar el valor de producción de zinc sin conocer los tipos de procesos. La producción de cinc se multiplica por el factor de emisión por defecto que considera proporciones por defecto de los procesos aplicados.

Como datos nacionales de esta subcategoría se ha considera la producción minera de zinc de fundición y de refinamiento. A pesar de que las emisiones de dióxido de carbono se generan durante la etapa de fundición se ha incluido la etapa de refinamiento, entendiendo que todo producto refinado ha pasado por una fundición previa (y por lo tanto generado emisiones de dióxido de carbono). La fuente de información utilizada proviene del Ministerio de Energía y Minas, responsable de las estadísticas nacionales sobre producción minera.

No siempre esta fuente indica datos sobre fundición y refinamiento del zinc⁷⁰. Cuando no se reporta producción de zinc fundido se ha considerado nulo.

6.3.3.3 Factores de emisión y conversión

En esta estimación al desconocerse los tipos de tecnologías utilizados en la producción de zinc, se aplicó el factor por defecto indicado por las Directrices del IPCC de 2006 que se basa en una

⁷⁰ Ver sección de análisis de resultados.

ponderación de factores de emisión conocidos (60% Imperial Smelting, 40% Waelz Kiln). El factor de emisión por defecto utilizado se describe en la siguiente tabla.

Tabla 84. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Producción de Zinc

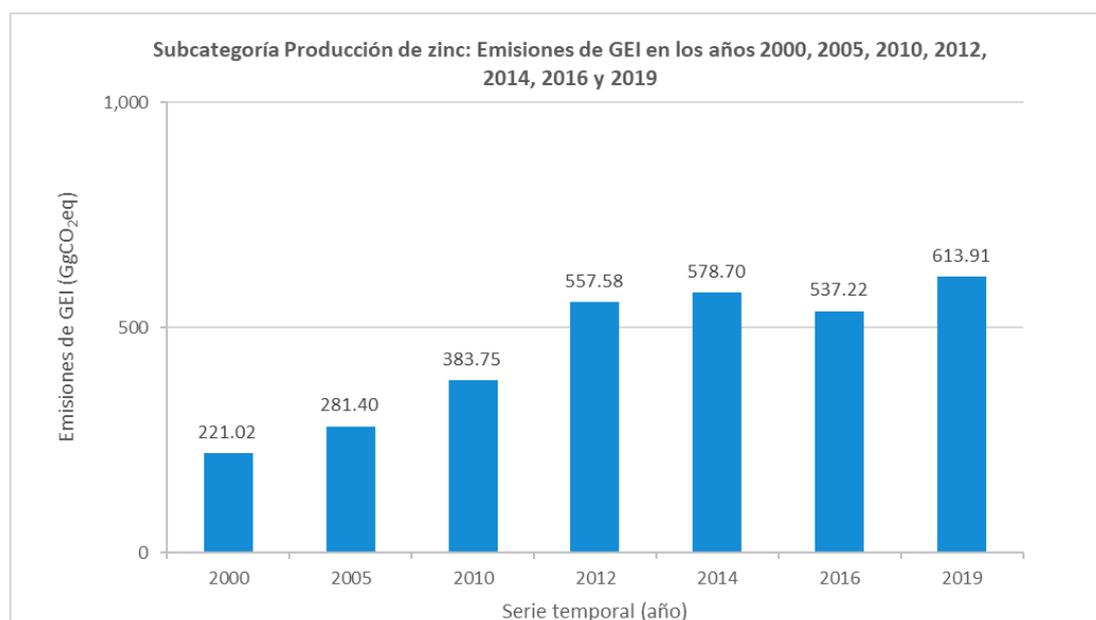
Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Factor de emisión por defecto de CO ₂ para la producción de zinc	1.72	toneladas de CO ₂ / toneladas de zinc producido	D	Se seleccionó el valor por defecto, al desconocerse los tipos de procesos realizados. Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3, p. 4.88.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.3.3.4 Análisis de resultados

Las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de zinc se estiman que alcanzaron el valor de 613.91 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Se aprecia un incremento de 14 % en relación con el año 2016 y un incremento de 178 % en relación con el año 2000. En todo el periodo se mantiene una tendencia ascendente, atenuada en la última década. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

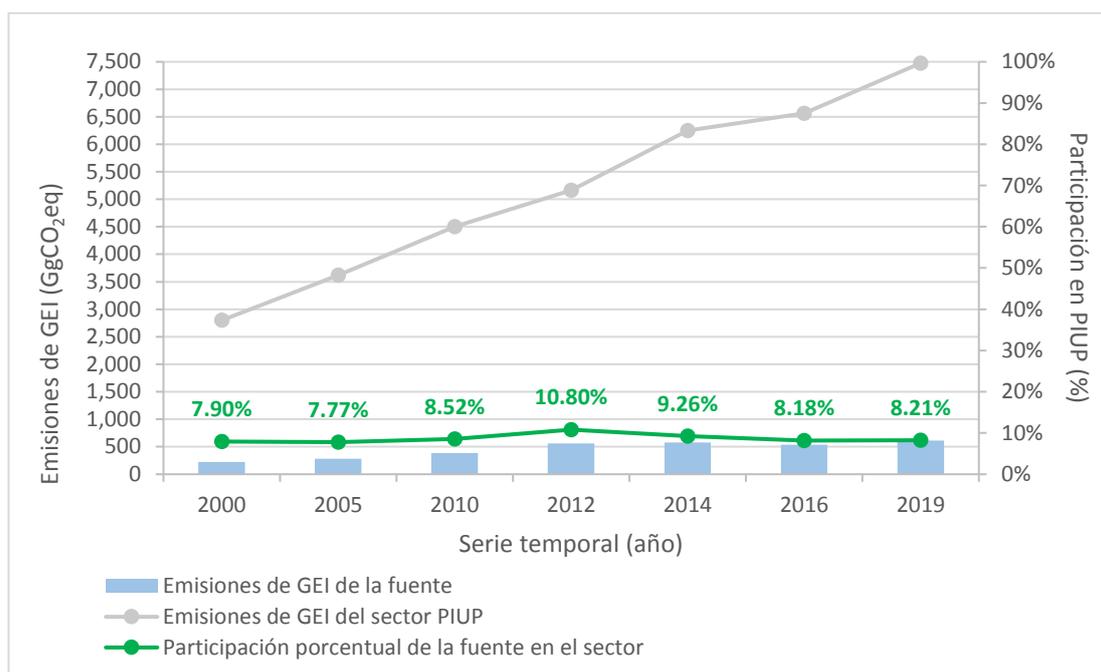
Figura 35. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Zinc



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

La subcategoría de producción de zinc representó el 8.21 % de las emisiones del año 2019 del sector PIUP con un ligero aumento respecto al año 2016 en el que participaba con 8.18 % (ver siguiente figura).

Figura 36. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Producción de Zinc



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.3.3.5 Análisis de incertidumbre

Al factor de emisión, se le ha atribuido una incertidumbre de $\pm 50\%$ asociada al uso del factor de emisión por defecto del nivel 1 (ver siguiente tabla).

Tabla 85. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Factor de Emisión - Subcategoría Producción de Zinc

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
50 %	Factor de emisión por defecto	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.90

Para el dato de actividad, se está utilizando el valor de la incertidumbre de $\pm 10\%$ asociado a los datos nacionales de producción, ya que no se cuenta con información específica a los procesos (ver siguiente tabla).

Tabla 86. Hipótesis y valores de incertidumbre por defecto para el Dato de Actividad - Subcategoría Producción de Zinc

Incertidumbre (\pm)	Descripción	Nivel
10 %	Datos nacionales de producción	1

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.90

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla. Estos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 50.99\%$, mientras que la incertidumbre introducida en

la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 0.096\%$. La incertidumbre podrá ser reducida a la medida que se cuente con más información sobre los procesos de producción de zinc.

Tabla 87. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Producción de Zinc

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR								
A		B	E	F	G	M		
Código de sector y categorías de fuentes (GL2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales		
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %		
2	Procesos Industriales y uso de productos							
2C	Industria de los metales							
	2C6	Producción de Zinc	CO ₂	10.00%	50.00%	$\pm 50.99\%$	$\pm 0.096\%$	

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.3.3.6 Actualización de la serie temporal

Los valores de las emisiones, estimadas en el marco del RAGEI 2019, para la serie de años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016; se mantuvieron sin cambio con respecto a lo calculado en el RAGEI PIUP 2016.

Los datos nacionales utilizados fueron los valores de producción de zinc fundido y refinado. El informante gubernamental que provee estadísticas nacionales sobre la producción minera es el Ministerio de Energía y Minas y para todos los años de la serie se utilizaron como fuentes de información sus reportes anuales. Sin embargo, para el año 2000 la información que se reporta no desagrega la producción de zinc en sus etapas de fundición y refinamiento por lo que, en lugar de utilizar el valor reportado, se aplicó una extrapolación de los datos disponibles.

6.3.3.7 Control de calidad y garantía de la calidad

Además de los procedimientos generales de control de calidad, las Directrices del IPPC de 2006 recomiendan procedimientos específicos. Estos procedimientos y las acciones llevadas a cabo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 88. Aplicación de los procedimientos específicos de control de calidad - Subcategoría Producción de Zinc

Procedimiento específico	Comentario sobre la aplicación
<p>Revisión de los factores de emisión</p> <p>Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias significativas existentes entre los factores nacionales y el factor por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativas de circunstancias diferentes.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento porque no se calcularon factores de emisión nacionales.</p>
<p>Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación</p> <p>Para los datos específicos de la instalación, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias existentes entre instalaciones, para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción de cinc, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas. Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento porque no se utilizó información sobre plantas en un nivel 1.</p>
<p>Revisión de expertos</p> <p>Los compiladores del inventario deben incluir en el proceso de revisión las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del cinc. Este proceso debe comenzar al inicio del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y a la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos. Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recolección inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.</p>	<p>No se aplicó el procedimiento ni se realizó la identificación de organizaciones industriales y comerciales.</p>
<p>Verificación de los datos de la actividad</p> <p>Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas. Los compiladores deben examinar toda incoherencia existente entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Esto es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso. Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.</p>	<p>Las verificaciones comparativas con el volumen 2 de Directrices del IPPC de 2006 (sector Energía) no se realizaron, por estar fuera del alcance del sector MYPE e Industria. Se recomienda sea parte de un control de calidad posterior al revisar el inventario integrado de todos los sectores para evitar doble contabilidad y omisiones.</p>

Fuente: Elaborado en base a Directrices del IPPC de 2006, Volumen 3, Capítulo 4, p. 4.91

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

6.4 Categoría 2F: Sustitutos fluorados para las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono

6.4.1 Subcategoría 2F1: Refrigeración y aire acondicionado

El IPCC (2006) refiere la subcategoría 2F1 como las vinculadas a los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado, suelen clasificarse en seis dominios o categorías de aplicación. Estas categorías utilizan diferentes tecnologías tales como intercambiadores de calor, dispositivos de expansión, tuberías y compresores. Los seis dominios de aplicaciones son: refrigeración doméstica, refrigeración comercial, procesos industriales, refrigeración de transporte, sistemas estacionarios de aire acondicionado, sistemas móviles de aire acondicionado. Para todas estas aplicaciones, diversos HFC están reemplazando en forma selectiva a los CFC y HCFC. En países desarrollados, por ejemplo, el HFC-134a ha reemplazado al CFC-12 en la refrigeración doméstica y en los sistemas móviles de aire acondicionado y las mezclas de HFC tales como R-407C (HFC-32/HFC-125/HFC-134a) y R-410A (HFC-32/HFC125) están reemplazando al HCFC-22, especialmente en aire acondicionado estacionario. Se usan otras sustancias diferentes de los HFC para reemplazar los CFC y HCFC tales como el isobutano en la refrigeración doméstica o el amoníaco en la refrigeración industrial. En varias regiones también se está considerando el HFC-152 para el aire acondicionado móvil.⁷¹

6.4.1.1 Método de cálculo

Esta subcategoría es estimada en el RAGEI PIUP por primera vez y, dado que aún se están fortaleciendo capacidades en el país para la correcta interpretación de la metodología del IPCC (2006), se considera como una primera aproximación al cálculo. Por el mismo motivo, el nivel de cálculo utilizado es el nivel 1 que se desarrolla en el Volumen 3, Capítulo 7 de las directrices del IPCC (2006). Por su complejidad, la planilla de cálculo de las emisiones de GEI para esta fuente de emisión se ha trabajado de manera separada.

6.4.1.2 Datos de actividad

El nivel de actividad ha sido determinado a partir de las estadísticas nacionales. La siguiente tabla describe la información utilizada.

⁷¹ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 1, Capítulo 8, Cuadro 8.2

Tabla 89. Descripción del nivel de actividad utilizado y los datos nacionales utilizados en la estimación del año 2019 - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado

Clasificación	Fuente de emisión	Nivel de actividad IPCC ⁷²	Dato Nacional	Valor	Unidad	Fuente de información
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	Consumo de HFC en Refrigeración y aire acondicionado	Producción de sustancia refrigerante	0	tonelada (t)	Estimado de: Respuesta de SUNAT sobre sustancias HFC (SUNAT, 2022) Informe de consultoría para la determinación del consumo de HFC (PRODUCE, PNUD, 2022)
			Importación de sustancia refrigerante	(varios valores)	tonelada (t)	Estimado de: Respuesta de SUNAT sobre sustancias HFC (SUNAT, 2022) Informe de consultoría para la determinación del consumo de HFC (PRODUCE, PNUD, 2022) Informe de consultoría para la determinación del consumo de HFC (PRODUCE, PNUD, 2022)
			Exportación de sustancia refrigerante	(varios valores)	tonelada (t)	Estimado de: Respuesta de SUNAT sobre sustancias HFC (SUNAT, 2022) Informe de consultoría para la determinación del consumo de HFC (PRODUCE, PNUD, 2022)
			Destrucción de sustancia refrigerante	0	porcentaje (%)	Estimado de: Informe de consultoría para la determinación del consumo de HFC (PRODUCE, PNUD, 2022)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.4.1.3 Factores de emisión y conversión

La siguiente tabla se describe los factores de emisión y otros supuestos utilizados.

⁷² Interpretado. Esta subcategoría se encuentra en evaluación y su estimación es una primera aproximación.

Tabla 90. Valores de los factores de emisión y de conversión utilizados - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado

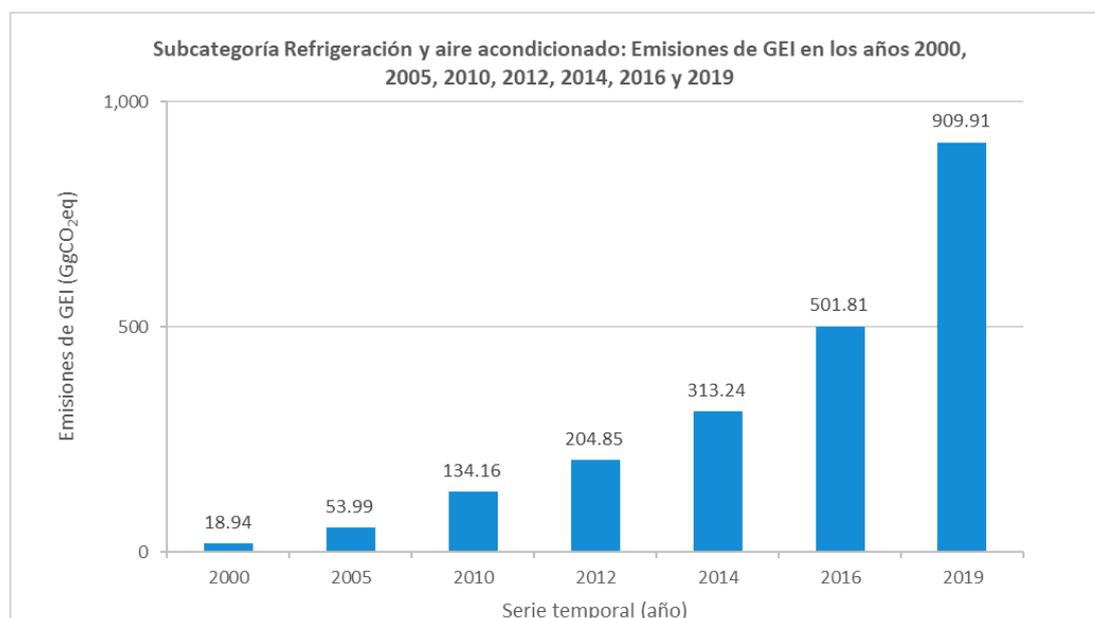
Dato	Valor	Unidad	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información y justificación de la elección
Tiempo de vida del equipo	15	años	D	Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3
Factor de emisión, por tipo de gas	15	Porcentaje (%)	D	Directrices del IPCC de 2006. Vol. 3
Porcentaje del consumo de refrigerantes que se asigna a refrigeración y aire acondicionado, por tipo de refrigerante puro	100	Porcentaje (%)	C	Asumido.
Tasa de crecimiento en ventas de equipos nuevos	0	Porcentaje (%)	C	Asumido, de la interpretación de: Directrices del IPCC del 2006 (IPCC, 2006) Planilla de GEI 2F1 (PRODUCE, 2023) Software IPCC (2022)

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.4.1.4 Análisis de resultados

Las emisiones de HFC por 2F1 se estiman en un valor de 909.91 Gg de CO₂ eq para el año 2019. Estas emisiones presentan una disminución de 81 % en relación con el año 2016 y de 4705 % en relación con el 2000, debido a que la estimación de las emisiones modela la liberación de GEI en el tiempo. La siguiente figura presenta los resultados de la estimación para toda la serie de tiempo.

Figura 37. Emisiones de GEI en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado

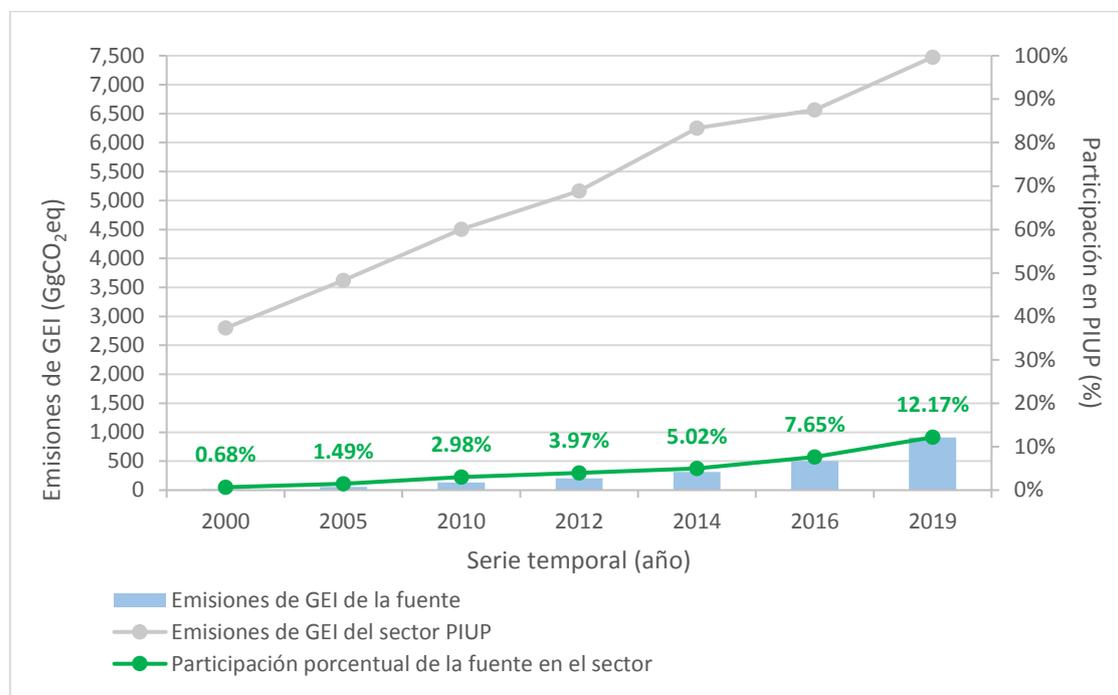


Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Esta subcategoría es importante, y es posible sea considerada como categoría principal en la evaluación que se conlleve para el INGEI 2019. Su participación en el año 2019 en las emisiones

del sector PIUP es de 12.17 %, siendo la segunda más significativa, después de la producción de cemento. La siguiente figura presenta la participación de la subcategoría en PIUP en el tiempo.

Figura 38. Participación en las emisiones del sector PIUP en los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2019 - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado



Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

6.4.1.5 Análisis de incertidumbre

Dado que no se cuenta con valores agregados de incertidumbre en el factor de emisión, se ha realizado el cálculo de incertidumbre tomando en cuenta los valores de Factores de emisión (bajo y alto), por aplicaciones, del cuadro 7.9, Capítulo 7, Volumen 3, Directrices del IPCC de 2006, equivalente a $\pm 165\%$ ⁷³. Para los datos de actividad se asocia la incertidumbre al procesamiento de información y a los supuestos de interpretación sobre las aplicaciones de las sustancias importadas, por lo que se utilizó el valor de $\pm 25\%$ ⁷⁴.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de esta fuente es igual a $\pm 166.88\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones sectoriales es igual a $\pm 1.33\%$ (ver siguiente tabla).

⁷³ Recomendado en el marco del proceso de control de calidad del MINAM, en diciembre del 2022.

⁷⁴ Evaluado por el equipo compilador del RAGEI de PRODUCE, en enero del 2023, para la elaboración del presente informe.

Tabla 91. Estimación de incertidumbre - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado

INCERTIDUMBRE POR FUENTE A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL SECTOR

A		B	E	F	G	M
Código de sector y categorías de fuentes (Directrices del IPCC de 2006)	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{E^2 + F^2}$ %	$\sqrt{K^2 + L^2}$ %

2	Procesos Industriales y uso de productos					
---	---	--	--	--	--	--

2F	Sustitutos fluorados para las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono					
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	25.00%	165.00%	±166.88%	±1.33%

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

Para revisar y analizar las fórmulas y los valores por defecto utilizados en la estimación de incertidumbre se recomienda ver las hojas “Incertidumbre – resultados” e “Incertidumbre – valores” en la Planilla de Cálculo del año 2019. Además, en el Anexo 2 se presenta la tabla de estimación de la incertidumbre a nivel de fuentes por categorías.

6.4.1.6 Actualización de la serie temporal

La serie temporal se calculó de manera automática, dado que la metodología del IPCC (2006) establece un modelo de emisiones que toma como variables el año de introducción de los HFC y el comportamiento de las emisiones en el tiempo. Para más detalle sobre la información base que se utiliza se debe revisar la planilla de estimación de GEI para la fuente 2F1 (PRODUCE, 2023).

6.4.1.7 Control de calidad y garantía de la calidad

En el caso de esta subcategoría, es la primera vez que se presenta una propuesta de estimación. Al respecto, aún está pendiente profundizar la evaluación de la información base utilizada y verificar la correcta interpretación de la metodología del IPCC (2006). Por tal motivo, la estimación en el presente reporte de esta subcategoría se considera como una primera aproximación al cálculo.

Se espera que los procesos de garantía de la calidad puedan conllevar a recomendaciones específicas de mejora para la categoría 2F en general. En este aspecto, cabe resaltar que, en el presente RAGEI, se ha asumido que el 100 % de los HFC importados han sido utilizados para Refrigeración y Aire Acondicionado (2F1). A futuro, se deberá realizar una evaluación de la información de HFC para diferenciarla en las aplicaciones de acuerdo a lo que determina el IPCC (2006) para la categoría 2F.

Por lo señalado, será necesario contar con apoyo técnico especializado para el fortalecimiento de capacidades en el país para la correcta interpretación y aplicación de la metodología del IPCC (2006) para la categoría 2F en general.

A pesar de estas limitaciones, se realizó un procedimiento de control de calidad, que consistió en comparar la estimación realizada mediante la planilla de cálculo de GEI 2F1 del RAGEI 2019 (PRODUCE, 2023b) con las estimaciones utilizando el Software del IPCC, donde se aplicaron los mismos. Tal como se presenta en la siguiente tabla las variaciones de esta comparación fueron poco significativas.

Tabla 92. Control de calidad de la estimación, comparación con software IPCC - Subcategoría Refrigeración y aire acondicionado

Año	Calculado en Software IPCC (Gg de CO ₂ eq)	Calculado en planilla 2F1 del RAGEI 2019 (Gg de CO ₂ eq)	Variación (%)
1996	-	-	
1997	2.403	2.404	0.03%
1998	6.786	6.784	0.04%
1999	12.855	12.854	0.01%
2000	18.932	18.935	0.02%
2001	25.149	25.152	0.01%
2002	31.628	31.631	0.01%
2003	38.502	38.502	0.00%
2004	45.900	45.904	0.01%
2005	53.988	53.988	0.00%
2006	62.921	62.922	0.00%
2007	76.241	76.306	0.09%
2008	92.659	92.718	0.06%
2009	111.700	111.749	0.04%
2010	134.117	134.162	0.03%
2011	160.889	160.925	0.02%
2012	204.814	204.849	0.02%
2013	275.758	275.767	0.00%
2014	313.971	313.989	0.01%
2015	377.364	377.390	0.01%
2016	506.245	502.350	0.77%
2017	601.701	601.700	0.00%
2018	739.406	739.392	0.00%
2019	909.897	909.907	0.00%

Versión de Software IPCC: Inventory Software Ver 2.691 (released on 23 January 2020)

Fecha de prueba: Octubre, 2022

Fuente: PRODUCE (2023a)

La garantía de la calidad es un proceso que se encuentra aún en curso a la fecha del cierre del presente reporte. Sin embargo, se han podido atender las recomendaciones de acción urgentes recibidas del equipo consultor durante el mes de febrero del 2023 (GAUSS, 2023). Las recomendaciones y las acciones realizadas en respuesta se describen en la sección 5.4.2.

7. SIGUIENTES PASOS

Los siguientes pasos para llevar a cabo están orientados en mejorar los atributos de calidad del RAGEI. La siguiente tabla describe las acciones de mejora identificadas y su nivel de avance. Esta tabla puede ser considerada como el plan de mejoras del RAGEI PIUP.

Tabla 93. Acciones de mejora planificadas para futuros RAGEI en base al control de calidad del equipo sectorial y a las recomendaciones de acciones urgentes de la garantía de la calidad

N°	Categorías involucradas	Descripción de la acción de mejora propuesta por el equipo sectorial	Nivel de avance en la implementación	Estado	Periodo de implementación	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
1	2A1 (producción de cemento)	Realizar consultas a las empresas sobre la posibilidad que reporten más información de sus plantas con el fin de mejorar el nivel de cálculo (pasar de nivel 2 a nivel 3). Cantidad y tipo de carbonatos consumidos (caliza, dolomita, etc.), composición química de los carbonatos consumidos, y de ser posible calcinación alcanzada por los carbonatos y masa de polvo de horno de cemento no calcinada ni reciclada. En el caso de los dos últimos, si no se contara con dicha información podría utilizarse factores por defecto.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
2	2A2 (producción de cal)	Identificar a los productores de cal y evaluar la factibilidad de solicitar información de sus plantas para toda la serie de tiempo que en el actual inventario presenta vacíos de información.	Se ha revisado la base de datos de la SUNAT para identificar a las empresas productoras de cal que representan el 80 % de las ventas.	En curso	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad, la exactitud y la coherencia.
3	2A2 (producción de cal)	Revisar información de cal como bien fiscalizado cuya producción se registra en la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT).	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exhaustividad, la exactitud y la coherencia.
4	2A2 (producción de cal)	Evaluar la viabilidad de pasar al nivel 2 en la estimación de esta fuente de emisión.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exhaustividad, la exactitud y la coherencia.
5	2A3 (producción de vidrio)	Revisar y realizar una validación con expertos del porcentaje de <i>cullet</i> (vidrio reciclado) utilizado y/o profundizar en la búsqueda de información nacional sobre el reciclaje de vidrio en el país.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exactitud.
6	2A4 (otros usos de carbonatos)	Identificar posibles nuevas fuentes de información para incluir más tipos de cerámicas y no solo ladrillos.	Se incluyó en la estimación del RAGEI 2019 a productos de cerámica para piso y pared del Anuario Estadístico.	Completado		Mejora la exhaustividad y la exactitud.

N°	Categorías involucradas	Descripción de la acción de mejora propuesta por el equipo sectorial	Nivel de avance en la implementación	Estado	Periodo de implementación	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
7	2A4 (otros usos de carbonatos)	Evaluar la factibilidad de solicitar información a nivel de planta de principales empresas y para toda la serie de tiempo.	Se ha recogido información, la cual está en la planilla de estimación de masas de productos.	En curso	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad y la exactitud.
8	2A4 (otros usos de carbonatos)	Revisar información para incluir otros tipos de cerámicos (diferentes a ladrillos) o estimar un peso estándar para realizar la conversión a masa a través de un panel experto.	Se incluyó en la estimación del RAGEI 2019 a productos de cerámica para piso y pared actualizando la encuesta para la estimación de la masa de productos.	Completado		Mejora la exhaustividad y la exactitud.
9	2A4 (otros usos de carbonatos)	Revisar el consumo calculado para otros usos de ceniza de sosa para los años 2000 y 2005, para los cuales no hay información de producción de vidrio de planta y/o consumo de ceniza de sosa para vidrio y se utilizan valores extrapolados. Identificar si existen fuentes de información complementarias.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exactitud y la coherencia.
10	2A4: Otros usos de carbonatos	Revisar la incertidumbre realizada en esta fuente de emisión dado que la garantía de la calidad identificó que la incertidumbre estimada no refleja las variables correctas. De ser necesario, solicitar asistencia a la CMNUCC.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la transparencia.
11	2B5 (producción de carburos)	Profundizar en la revisión de información, verificar si realmente no hay producción de carburos y documentarlo.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la transparencia.
12	2C1 (producción de hierro y acero)	Revisar la identificación de las principales empresas productoras de hierro y acero para incluir a otras que no han sido consideradas al momento.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
13	2C1 (producción de hierro y acero)	Diferenciar en la información de producción de hornos eléctricos EAF con la producción de hornos eléctricos de inducción (que no emite GEI).	Se cuenta con el reporte de todas las empresas en el año 2019.	Completado		Mejora la exactitud y la exhaustividad.

N°	Categorías involucradas	Descripción de la acción de mejora propuesta por el equipo sectorial	Nivel de avance en la implementación	Estado	Periodo de implementación	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
14	2C1 (producción de hierro y acero)	Profundizar sobre los procesos de peletizado de hierro que se aplican en las empresas para determinar la pertinencia de las emisiones en función a las tecnologías.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo.	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
15	2C3 (producción de magnesio)	Profundizar en la revisión de información, verificar si realmente no hay producción de magnesio metálico y documentarlo.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la transparencia.
16	2C5 (producción de plomo)	Identificar a las empresas productoras de plomo primario y evaluar la factibilidad de solicitarles información.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
17	2C7 (producción de zinc)	Identificar a las empresas productoras de zinc primario y evaluar la factibilidad de solicitarles información que pueda caracterizar el tipo de tecnología que utiliza y/o mejorar el nivel de cálculo.	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
18	2F (uso de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono)	Identificar la información disponible respecto a las subcategorías comprendidas y evaluar la posibilidad de cuantificar las emisiones de GEI derivadas.	Existe avance, y se realiza una primera estimación para 2F1, que se incluye en el RAGEI 2019.	En proceso	Corto plazo	Mejora la exhaustividad.
19	2F1 (refrigeración y aire acondicionado)	Someter la planilla de GEI de 2F1 a un proceso de garantía de calidad con especialistas y/o con responsables que ya hayan realizado las estimaciones de esa subcategoría.	Acción identificada como conclusión del proceso del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
20	2F1 (refrigeración y aire acondicionado)	Revisar la calidad de la información utilizada para determinar el nivel de agregación que implica y, a su vez, investigar sobre las aplicaciones del consumo de HFC en Perú	Acción identificada como conclusión del proceso del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.
21	2F1 (refrigeración y aire acondicionado)	Evaluar los supuestos de años de introducción de los refrigerantes en el Perú.	Acción identificada como conclusión del proceso del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exactitud y la exhaustividad.

N°	Categorías involucradas	Descripción de la acción de mejora propuesta por el equipo sectorial	Nivel de avance en la implementación	Estado	Periodo de implementación	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
22	2G1 (equipos eléctricos)	Averiguar el sector eléctrico ya tiene caracterizados estas emisiones. La mayor parte del SF ₆ utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas y en los disyuntores a gas, aunque parte del SF ₆ se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas y en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas (GAUSS, 2023).	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad.
23	2G1 (equipos eléctricos)	Investigar si existen otros usos de SF ₆ y PFC (además de los que se utilizan en los equipos eléctricos), como, por ejemplo, en aceleradores de partículas en grupos de investigación o en las ventanas con vidrios insonorizados (GAUSS, 2023).	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad.
24	2G3 (N ₂ O de usos de productos)	Evaluar la implementación de un modelo de estimación de N ₂ O en aplicaciones médicas, utilizando como posible variable indicativa, el número de camas ocupadas en los hospitales.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad.
25	Todas	Establecer instrumentos y acuerdos formales entre las empresas y el PRODUCE, para el reporte periódico de información de sus niveles de actividad en el marco del RAGEI. Aplica en especial para las fuentes que son estimadas con información de empresas (2A1, 2A2, 2A4a, 2B2, 2C1 y otras que pudieran mejorar su nivel de cálculo)	No se han iniciado acciones de implementación.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la transparencia.
26	Todas	Evaluar el comportamiento de las emisiones en el tiempo relacionando las emisiones con otras variables económicas, políticas o ambientales.	Se abordó en el RAGEI 2016 pero puede ser mejorado.	En proceso	Mediano plazo	Mejora la coherencia.
27	Todas	Revisar la representatividad de los datos nacionales utilizados, priorizando la información de estadísticas nacionales, que provienen del MINEM, SUNAT y PRODUCE.	Se abordó en el RAGEI 2016 pero puede ser mejorado.	En proceso	Mediano plazo	Mejora la exactitud, la exhaustividad y la comparabilidad.

N°	Categorías involucradas	Descripción de la acción de mejora propuesta por el equipo sectorial	Nivel de avance en la implementación	Estado	Periodo de implementación	Impacto en la estimación u otros atributos del RAGEI
28	Todas	Realizar los procedimientos de control de calidad y de garantía de la calidad recomendados por el IPCC, de manera completa.	El RAGEI 2019, está en proceso de revisión.	En proceso	Corto plazo	Mejora la exactitud, la exhaustividad, la comparabilidad, la coherencia y la transparencia.
28	Todas	Solicitar asistencia al MINAM y a la CMNUCC para revisar la incertidumbre del sector PIUP y fortalecer capacidades en el PRODUCE.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la transparencia.
29	Todas	Realizar coordinaciones con el MINAM para actualizar el alcance de RAGEI PIUP del Perú en la guía de Infocarbono (Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM), evaluando las circunstancias sectoriales y considerando las mejoras realizadas.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Mediano plazo	Mejora la exhaustividad y la transparencia.
30	Todas	Estandarizar la interpretación de las notaciones NE, NA, NO, en conjunto con el MINAM. De acuerdo con lo explicado por la experta revisora del RAGEI PIUP 2019, la notación NA se utiliza cuando no hay metodología y/o cuando una actividad ocurre, pero no genera emisiones. Evaluar si este cambio también le correspondería a la producción de aluminio.	Acción identificada en el proceso de garantía de la calidad del RAGEI 2019.	Pendiente	Corto plazo	Mejora la exhaustividad y la transparencia.

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE)

8. BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (s.f.). Series Nacionales de INEI - Fabricación de vidrio y productos de vidrio (base 1994). Obtenido el 11 de abril de 2022 de website de Instituto Nacional de Estadística e Informática en: <https://webapp.inei.gob.pe:8443/sirtod-series/>
- GAUSS. (2023). Presentación “Garantía de la calidad del inventario nacional de gases de efecto invernadero del 2019 del Perú (2023)”, sobre los hallazgos y recomendaciones en el marco de la Garantía de la Calidad del RAGEI PIUP 2019, de Laura Dawidoski, experta IPPU de GAUSS (31 de enero de 2023). Obtenido en reunión de febrero del 2023 con representantes del Ministerio del Ambiente y del Ministerio de la Producción.
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). Reporte Anual de Producción Minera 2019. Obtenido el 9 de abril de 2022, de Ministerio de Energía y Minas: <http://www.minem.gob.pe/estadisticaSector.php?idSector=1>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012, Infocarbono. Lima: Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Guía N° 3: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Sector Procesos Industriales y Uso de Productos. Categorías: Industria de los Minerales, Industria Química e Industria de los Metales. Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2021). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2016, Infocarbono. Lima: Dirección General de Cambio Climático y Desertificación. Obtenido en diciembre de 2022 de: https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/06/INGEI_2016_Junio-2021_Final.pdf
- Ministerio de la Producción, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2022). Reportes de consultoría sobre consumo de HFC, generados a partir de la revisión de base de datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (Proyecto PNUD para la implementación de Montreal y Kigali).
- Ministerio de la Producción. (2017a). Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno 2016. Ministerio de la Producción. Lima: Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. Obtenido en noviembre de 2022, de Ministerio de la Producción: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anauales/item/818-anuario-estadistico-industrial-mipyme-y-comercio-interno-2017>
- Ministerio de la Producción. (2017b). Reporte Anual de Gases de efecto Invernadero del Sector Procesos Industriales y Uso de Productos del año 2014 – RAGEI PIUP 2014. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción del Perú.
- Ministerio de la Producción. (2016a). Acta de estimación de masas promedios para ladrillos para el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2014. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales del Viceministerio de MYPE e Industria.
- Ministerio de la Producción. (2016b). Archivo de información sobre niveles de actividad de las empresas, recopilada en el marco del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de la categoría Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2014.

- Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales del Viceministerio de MYPE e Industria.
- Ministerio de la Producción. (2017). Archivo de información sobre niveles de actividad de las empresas, recopilada en el marco del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de la categoría Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2016. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales del Viceministerio de MYPE e Industria.
- Ministerio de la Producción. (2020). Anuario Estadístico Industrial, MYPE y Comercio Interno 2019. Lima: Dirección General de la Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos - Oficina de Estudios Económicos. Obtenido el 11 de abril de 2022 de website de Ministerio de la Producción en: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anauales/item/940-anuario-estadistico-industrial-mipyme-y-comercio-interno-2019>
- Ministerio de la Producción. (2021). Reporte Anual de Gases de efecto Invernadero del Sector Procesos Industriales y Uso de Productos del año 2016 – RAGEI PIUP 2016. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción del Perú.
- Ministerio de la Producción. (2022a). Archivo de información recopilada de las empresas, sobre sus niveles de actividad, del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2019. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción del Perú.
- Ministerio de la Producción. (2022b). Planilla de estimación de masas promedios para ladrillos para el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2019. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción del Perú.
- Ministerio de la Producción. (2023). Planilla de cálculo de emisiones de GEI de la fuente 2F1, del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero de Procesos Industriales y Usos de Productos del año 2019. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción del Perú.
- Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (2022). Información sobre importación y exportación de sustancias HFC. Obtenido como respuesta a Oficio N° 196-2022-PRODUCE-DGAAMI.
- Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria. (2021). Base de datos de información aduanera de la SUNAT - Filtro para Carbonato de Sodio. Obtenido de la Gerencia Operativa del Registro de Bienes Fiscalizados de la Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados.
- Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. (2017). Registro de Operaciones de los usuarios inscritos en el Registro para el Control de Bienes Fiscalizados. Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2000). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Obtenido de The Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (National Greenhouse Gas Inventories

Programme, H. Eggleston, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Edits.) Japón: IGES. Obtenido de The Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>

The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

9. ANEXOS

Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI 2019

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Marco Osorio Villegas
Cargo	Especialista técnico ambiental Coordinador RAGEI
Correo Electrónico	mosorio@produce.gob.pe
Teléfono - Anexo	6162222 - 3537
Dirección de Línea	Dirección de Gestión Ambiental Dirección General de Asuntos Ambientales de Industrias Viceministerio de MYPE e Industria
Institución	Ministerio de la Producción

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	María del Carmen Paloma Oviedo Rodríguez
Cargo	Consultora especialista en INGEI
Correo Electrónico	paloma.oviedo@gmail.com
Teléfono	949454250

Anexo 2: Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones del RAGEI

INCERTIDUMBRE COMBINADA POR CATEGORÍA

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Código de categorías de fuentes - Directrices del IPCC de 2006	Categoría del IPCC	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t (RAGEI 2019)	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad tipo A	Sensibilidad tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales	
			Datos de entrada Gg CO ₂ eq	Datos de entrada Gg CO ₂ eq	Datos de entrada %	Datos de entrada %	$\sqrt{(E^2 + F^2)}$ %	$(G \cdot D)^2 / (\sum D)^2$ %	%	D / $\sum C$ %	I · F %	J · E · $\sqrt{2}$ %	$\sqrt{(K^2 + L^2)}$ %	
2 Procesos Industriales y uso de productos														
2A Industria de los minerales														
	2A1	Producción de Cemento	CO ₂	1,782.14	4,763.47	1.50%	30.12%	30.16%	6.43%	-0.28%	250.27%	-0.09%	5.31%	5.31%
	2A2	Producción de Cal	CO ₂	24.43	756.15	20.00%	1.73%	20.07%	0.07%	298.12%	39.73%	5.15%	11.24%	12.36%
	2A3	Producción de Vidrio	CO ₂	34.39	39.01	40.31%	60.00%	72.28%	0.00%	-0.03%	2.05%	-0.02%	1.17%	1.17%
	2A4	Otros usos de Carbonatos												
	2A4a	Cerámicas	CO ₂	62.39	107.00	2.83%	3.00%	4.12%	0.00%	-0.04%	5.62%	0.00%	0.22%	0.22%
	2A4b	Otros usos de la Ceniza de Sosa	CO ₂	0.00	1.79	2.83%	3.00%	4.12%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%
				1,903.36	5,667.41				6.50%					
2B Industria química														
	2B2	Producción de Ácido Nítrico	N ₂ O	0.00	33.76	2.00%	10.00%	10.20%	1.04%	1,191.20%	119,119.90%	119.12%	3,369.22%	3,371.32%
	2B7	Producción de Ceniza de Sosa	CO ₂	0.03	0.01	5.00%	0.00%	5.00%	0.00%	-1,179.40%	34.88%	0.00%	2.47%	2.47%
				0.03	33.77				1.04%					
2C Industria de los metales														
	2C1	Producción de Hierro y Acero	CO ₂	592.07	250.46	10.00%	25.00%	26.93%	7.80%	-0.38%	28.61%	-0.10%	4.05%	4.05%
	2C1	Producción de Hierro y Acero	CH ₄	0.03	0.00	10.00%	25.00%	26.93%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	2C5	Producción de Plomo	CO ₂	62.44	0.00	10.00%	50.00%	50.99%	0.00%	-0.07%	0.00%	-0.04%	0.00%	0.04%
	2C6	Producción de Zinc	CO ₂	221.02	613.91	10.00%	50.00%	50.99%	36.22%	0.45%	70.12%	0.23%	9.92%	9.92%
				875.55	864.38				44.02%					
2F Uso de productos sustitutos de las SAO														
	2F1	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	18.94	909.91	25%	165.00%	166.88%	278.50%	0.00%	4,805.39%	0.00%	1,698.96%	28,864.76%
				18.94	909.91				278.50%					

Fuente: Elaboración propia (DGAAMI, PRODUCE) en base a OBP2000, Capítulo 6, p. 6.17 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000)